

II SIMPÓSIO INTERNACIONAL ACAV-EMBRAPA SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES

06 e 07 de Novembro de 2001 – Concórdia, SC

ANAIS



Embrapa

Suínos e Aves

República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Marcus Vinicius Pratini de Moraes
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhardt Quast
José Honório Accarini
Sérgio Fausto
Urbano Campos Ribeiral
Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Bonifácio Hideyuki Nakasu
Dante Daniel Giacomelli Scolari
José Roberto Rodrigues Peres
Diretores

Embrapa Suínos e Aves

Dirceu João Duarte Talamini
Chefe Geral

Paulo Roberto Souza da Silveira
Chefe Adjunto de Comunicação e Negócios

Paulo Antônio Rabenschlag de Brum
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Claudinei Lugarini
Chefe Adjunto de Administração

***II Simpósio Internacional
ACAV–Embrapa sobre Nutrição de
Aves***

06 e 07 de Novembro de 2001 – Concórdia, SC

Anais

Exemplares desta publicação podem ser solicitados a:

Embrapa Suínos e Aves
BR 153, km 110, Vila Tamanduá
Caixa Postal 21
CEP 89700-000 – Concórdia, SC

Telefone: (49) 442-8555
Fax: (49) 442-8559
e-mail: sac@cnpsa.embrapa.br
<http://www.cnpsa.embrapa.br>

Tratamento editorial: Tânia Maria Biavatti Celant
Simone Colombo

Tiragem: 200 exemplares

Simpósio Internacional ACAV—Embrapa sobre Nutrição de Aves, 2, 2001, Concórdia, SC.

Anais do II Simpósio Internacional ACAV—Embrapa sobre Nutrição de Aves. – Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2001. 94 p.; (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 70).

1. Ave – nutrição – congresso. I. Título. II. Série.

CDD 636.5085

COORDENAÇÃO

Gilberto V. Vasconcellos (ACAV)

Paulo Sérgio Rosa (Embrapa Suínos e Aves)

DIRETORIA DA ACAV

Diretoria Executiva:

Presidente: Carlos Alberto Gradin

Vice-Presidentes:

- Financeiro: José Carlos Soares Fonseca
- Administrativo: Adriana Füchter
- Divisão de Exportação: Sinésio Volpato
- Divisão de Matrizes e Pintos: Celso Mاتيollo
- Divisão de Rações: Gilberto Vasconcellos
- Divisão de Equipamentos: Bento Zanoni
- Divisão de Sanidade: Ricardo Soncini
- Divisão de Frangos: Alcione Brandão
- Divisão de Ovos: Sérgio Dalagnol

Conselho Fiscal:

- Paulo Ernani de Oliveira
- Mauri Delai
- Jose Zeferino Pedrozo
- Luis Carlos Moraes - Suplente

COMISSÃO ORGANIZADORA

- Cicero J. Monticelli
- Dianir M.S. Formiga
- Gilberto V. Vasconcellos
- Jean C.P.V.B. Souza
- Maurício Marcos Júnior
- Paulo A.R. de Brum
- Paulo R.S. da Silveira
- Paulo S. Rosa
- Ramalho J.B. Rodrigues
- Rosali S. Vanzin
- Simone Colombo
- Tânia M.B. Celant
- Tânia M.G. Scolari
- Viviane Zanella

COLABORADORES

- Flávio Bello Fialho
- Edison Bomm
- Irene Z. P. Camera
- Jacir Albino
- Jackson R. Altenhofen
- Letícia Nesi
- Luiz A. Bernardi
- Nádia S. Schmidt
- Sandra S. Schirmann

AGRADECIMENTOS

A Comissão Organizadora agradece a colaboração das Áreas Técnicas e de Apoio Técnico e Administrativo que contribuíram para a realização deste evento.

Promoção e Realização



Patrocínio

-alharma
-aventis
-ajinomoto -cobb
-elanco -novus
-phibro -roche/vitaminas

Apoio

-adm
-agroceres ross
-alltech
-aurora
-farmabase -ourofino
-farmacia/saúde animal -reiza/kern
-sadia -selko

APRESENTAÇÃO

A Embrapa Suínos e Aves e a Associação Catarinense de Avicultura - ACAV, com o propósito de trazer subsídios que ampliem o nível de conhecimento dos técnicos que trabalham na área de nutrição e produção avícola promovem o II Simpósio Internacional sobre Nutrição de Aves. Esse evento acontece devido ao decisivo apoio e patrocínio de empresas do agronegócio de avicultura. A essas empresas, reiteramos nossos agradecimentos.

Agradecemos, também, aos palestrantes e mediadores que prontamente atenderam ao nosso convite e que, com certeza, fazem desse evento um marco para a avicultura regional.

A Comissão espera que o evento atenda aos anseios de todos os participantes e agradece a acolhida e a confiança depositada no trabalho realizado. Desejamos a todos uma boa estada e sucesso, na expectativa de poder, daqui a dois anos, estarmos aqui novamente, contando com sua participação e prestígio.

A Comissão Organizadora

SUMÁRIO

Aspectos técnicos e econômicos da utilização de sub-produtos de origem animal na alimentação de frangos de corte <i>Claudio Bellaver</i>	1
Fundamentações para a nutrição diferenciada de linhagens de frangos de corte <i>Sergio L. Vieira, Simone Pophal</i>	19
Improvement of incubation egg quality by nutrition <i>R. A. Renema, F. E. Robinson</i>	29
Impact of ambient temperature on amino acid exigency and carcass composition in broilers <i>Pierre-André Geraert</i>	45
Relationship between nutrition and the immune system in poultry <i>Doug Korver, Kirk Klasing</i>	58
Efeito do balanço entre aminoácidos e a relação energia/proteína sobre o seu metabolismo: desempenho e composição corporal em frangos de corte <i>Murdo G. MacLeod</i>	64
Modelling energy and amino acid requirements in order to optimise the feeding of commercial broilers <i>Rob Gous</i>	82

ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA UTILIZAÇÃO DE SUB-PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL NA ALIMENTAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

Claudio Bellaver

Méd. Vet., M.Sc, Ph.D. Embrapa Suínos e Aves
bellaver@cnpasa.embrapa.br

1 Introdução

Quando se analisa a produção animal como um todo, sabemos da importância das diferentes áreas que determinam a produtividade da exploração e por isso devem ser visualizados em conjunto, como mostra-se na Figura 1. Entretanto, um dos itens importantes a ser considerado no conjunto, é a qualidade das matérias-primas para a fabricação de rações. Com isso, enfatizamos que, se por um lado conseguimos ingredientes de alta qualidade, os quais melhoram as rações, por outro lado, não deve-se descuidar dos demais aspectos do processo de produção animal. Assim, deve-se identificar no sistema produtivo, onde estão os gargalos e onde há necessidade de melhoria do processo, para ajustá-los quando necessário.

Saindo do aspecto geral da produção animal e considerando apenas a fabricação de rações na propriedade rural, as responsabilidades para a boa execução, recaem em menor número de pessoas e o processo deve ser muito bem conhecido, sob pena de se perder na qualidade em comparação com as rações industriais. Por sua vez, a preparação de rações industriais, com garantia de qualidade, depende entre outros aspectos, dos seguintes:

- Presença constante do nutricionista animal e equipe de colaboradores para atuarem nos diversos pontos da produção (recebimento, amostragem, formulação, execução das fórmulas, estocagem, distribuição e validação à campo);
- Fábrica com infra-estrutura e equipamentos apropriados (moega, transportador de ingredientes, silos, balanças, moinho, elevadores, misturador, condicionador, peletizadora, resfriador, gerador de vapor, motores, computadores, Internet, etc.);
- Existência de laboratório de apoio equipado para controle de qualidade dos ingredientes e rações (capacidade física, química e biológica);
- Rede de distribuição.

A premissa máxima na fabricação de rações de alta qualidade certamente é que, não podem ser fabricadas rações de qualidade com ingredientes de má qualidade; ou seja, *um ingrediente de má qualidade gera uma ração de má qualidade* na relação direta de sua participação na fórmula, independentemente de quaisquer outros fatores da produção. O segundo ponto importante, é que a qualidade deve ser mantida

durante e após o processamento, por ocasião da estocagem e uso. Assim, se os ingredientes forem de alta qualidade na aquisição, só existirão perdas, se o processamento, estocagem, transporte ou uso forem inadequados. Então, a qualidade dos ingredientes é o primeiro e mais importante item para obedecer na produção de rações e para alcançá-lo, é preciso conhecer os ingredientes.

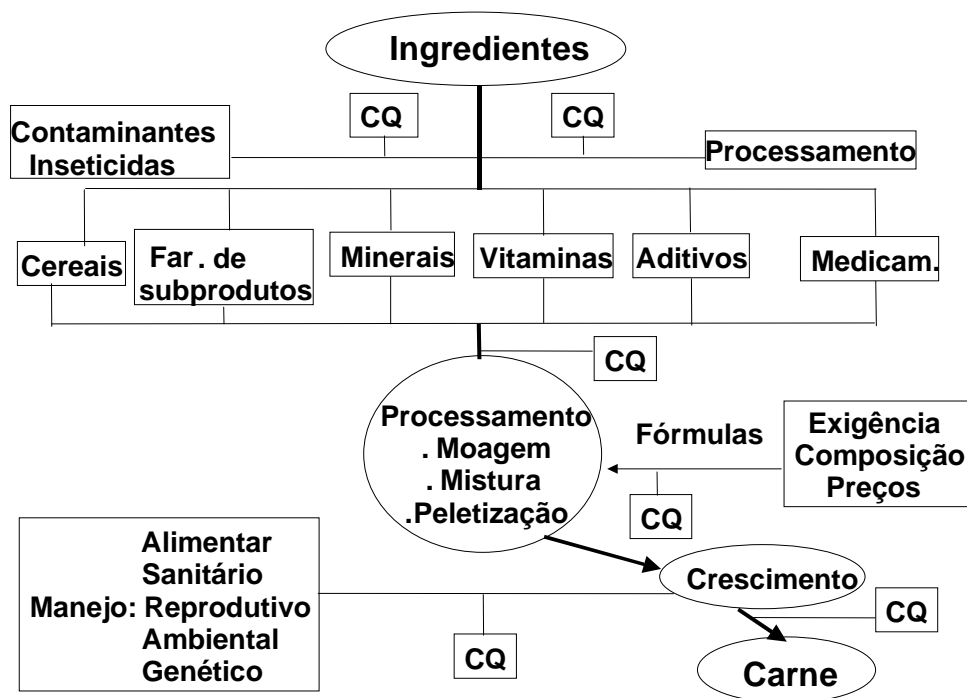


Figura 1 — Interrelações na produção de suínos com ênfase no controle de qualidade dos ingredientes (CQ).

2 Conhecendo os ingredientes para fabricação de rações

Sob a perspectiva da fabricação de rações, de uma maneira geral, o recebimento de ingredientes é à granel e em grandes quantidades. Evidentemente que há variações entre as indústrias ou entre as granjas, porém o tempo para obter análises dos ingredientes e executar a formulação da dieta, em geral é insuficiente, assumindo-se daí, em muitos casos, que a qualidade é aceitável e adicionando-se margens de segurança nas fórmulas. Isto pode ser melhorado trazendo ao uso as análises físico-sensorial, químicas e biológicas para o melhor conhecimento do ingrediente. Antes que se proceda qualquer análise, os responsáveis pelo recebimento dos ingredientes devem ser treinados para relatarem imediatamente os atributos dos ingredientes aos seus superiores. Devem portanto, estar treinados para tomarem decisão de impedir um descarregamento antes de qualquer resultado analítico. Algumas firmas utilizam inspecionar os ingredientes antes de sua compra, junto ao fornecedor. Embora isso seja o desejável, não garante a qualidade no

recebimento, pois podem ocorrer mudanças de várias origens após a inspeção de matérias primas.

Define-se que a base para o estabelecimento de uma rotina de verificação da qualidade são as *especificações de qualidade*, tanto de matérias primas como de dietas fabricadas. As especificações dos ingredientes dependem de disponibilidade no mercado e natureza do ingrediente com seus padrões conhecidos. Na recepção de ingredientes existem 3 classes de avaliação para aceitar ou devolver o embarque, que são: a) as provas sensoriais, b) provas rápidas e c) provas de laboratório.

Particularmente no caso das farinhas de origem animal (FOA) as *especificações sensoriais* devem se concentrar na cor, odor, aspecto do tamanho das partículas, umidade e gordura ao tato, empedramento, presença de matérias estranhas e embalagem de recebimento. As *provas rápidas* nas FOA podem buscar medir o tamanho das partículas com auxílio do granulômetro, obter valores de composição por estimativas através do NIR, determinação rápida da gordura e minerais, densidade e microscopia do ingrediente. Já as *análises de laboratório* deveriam se concentrar pelo menos nos seguintes itens: umidade, energia bruta, proteína ($N \times 6,25$), gordura, cinzas, cálcio e fósforo, aminoácidos, solubilidade em pepsina 0,0002%, rancidez, putrefação, bacteriológico para Salmonela.

3 Definição dos subprodutos de origem animal

Mostramos acima que a qualidade dos ingredientes é importante e que é possível monitorá-la eficazmente. Porém, quando se trata de subprodutos de origem animal, maior cuidado é necessário, pois esses apresentam dificuldade de padronização em função do processo produtivo e da origem dos resíduos que compoem as farinhas de origem animal (FOA). Esses subprodutos são muito importantes nos aspectos nutricional, econômico e de segurança alimentar. Não é objetivo desse trabalho abordar todas as fontes de origem animal, mas caracterizar as mais importantes de acordo com o Compêndio (1998), o que por si só ajuda diminuir a variabilidade de informações encontrada nas tabelas. Nas definições, algumas complementações foram extraídas de Farmland (2001).

Farinha de penas e vísceras (FPV): é o produto resultante da cocção, sob pressão, de penas limpas e não decompostas, bem como vísceras de aves abatidas. É permitida a participação de carcaças, desde que a sua inclusão não altere significativamente a composição estipulada.

Farinha de penas hidrolisadas (FP): é o produto resultante da cocção, sob pressão, de penas limpas e não decompostas, obtidas no abate de aves.

Farinha de vísceras (FV): é o produto resultante da cocção de vísceras de aves, sendo permitida a inclusão de cabeças e pés. Não deve conter penas e, resíduos de incubatórios e outras matérias estranhas à sua composição. Não deve apresentar contaminação com casca de ovo. De acordo com a Farmland (2001), na FV permite-se a inclusão de todas as partes resultantes do abate, inclusive ovos não desenvolvidos, mas não é permitida a inclusão de penas, cuja inclusão caracteriza adulteração. A proteína varia de 55 a 65% e sua cor é dourada a marrom, com densidade de 545 a 593 kg/m³.

Farinha de carne e ossos (FCO): é produzida em graxarias e frigoríficos a partir de ossos e tecidos animais, após a desossa completa da carcaça de bovinos e/ou suínos. Não deve conter cascos, chifres, pêlos, conteúdo estomacal, sangue e outras matérias estranhas. Nos EUA a definição da FCO implica em ter no mínimo 4% de fósforo, o cálcio não deve exceder a 2,2 vezes o seu nível e a proteína deve ter solubilidade em pepsina superior a 86%. A composição do material bruto terá significativo efeito na qualidade do produto obtido sendo que a gordura protege a lisina no processamento da FCO. O sobreaquecimento influencia na palatabilidade e qualidade da FCO e cuidados especiais devem ser tomados para eliminar os microrganismos prevenindo a contaminação da FCO após o processamento. Sua cor é de dourada a marron com densidade de 657 a 689 kg/m³.

Farinha de carne (FC): é o produto oriundo do processamento industrial de tecidos animais. São especificados 5 tipos de FC com base na PB (35, 40, 45, 50 e 55% de PB). A farinha de carne é obtida semelhante a FCO, mas o nível de fósforo será não superior a 4%.

Farinha de ossos (FO): é o produto obtido após a moagem e calcinação de ossos.

Farinha de ossos autoclavada (FOA): é o produto seco e moído, obtido de ossos não decompostos e submetidos a tratamento térmico em autoclave.

Farinha de sangue (FS): é o produto resultante do processo de cozimento e secagem do sangue fresco. A farinha de sangue convencional é produzida de sangue fresco, sem cerdas, urina e conteúdo digestivo, exceto em quantidades que podem ser admitidas nas boas práticas de processamento. A umidade é removida no cozimento convencional e a secagem em secadores rotatórios. O produto obtido é vermelho escuro tendendo a preto, insolúvel em água. O método de secagem do sangue é provavelmente o fator que mais contribui para a qualidade. Temperaturas mantidas altas formam complexos com a lisina que é indisponível aos animais. É um produto que apresenta problemas de palatabilidade se usado em grandes quantidades. Sua densidade é de 609 kg/m³.

A farinha de sangue “flash dried” é obtida do sangue cuja a parte líquida maior foi removida por condensação e a parte semi-sólida transferida para um secador rápido para remover a umidade restante. As características são semelhantes a farinha convencional, porém a cor é de marron para vermelho escuro.

A farinha de sangue “spray dried” é aquela cuja a umidade é removida por fluxo de ar quente, após a atomização do sangue produzindo uma farinha vermelho amarronzado. É um produto muito higroscópico e solúvel em água.

Plasma (P): é o produto resultante da centrifugação e posterior secagem do plasma sanguíneo sem as hemáceas.

Células vermelhas do sangue (CVS): é o produto resultante da coagulação e centrifugação para remoção do plasma sanguíneo e posterior secagem das hemáceas coaguladas e moído finamente.

Farinha integral de peixe (FIP): é o produto seco e moído, obtido de peixes inteiros de várias espécies, com ou sem extração de óleo.

Farinha residual de peixe (FP): é o produto seco moído, obtido pela cocção de cortes de peixes, com ou sem extração de óleo.

Gordura suína (banha), gordura bovina (sebo) e óleo de aves (Óleo): são os produtos resultantes de tecidos animais obtidos nos processos de extração de gorduras por via mecânica (prensagem) e(ou) por solvente, filtrados ou não.

4 Produção de farinhas de origem animal (FOA)

Devido ao aumento de produção de rações que deverá atingir próximo a 37 milhões de toneladas em 2001 (Perfil, 2001), a indústria de rações depara-se com a necessidade de grandes volumes de ingredientes, havendo poucas alternativas à combinação milho e farelo de soja. As FOA são alternativas frequentemente usadas pois asseguram vantagens nutricionais e econômicas na formulação desde que assegurada a qualidade das mesmas. No Brasil, há uma produção de carnes superior a 14 milhões de toneladas (bovina > 6, aves > 6 e suína > 2) e assumindo cerca de 35% de perdas no abate, como resíduos não comestíveis, 50% de água nos resíduos e o restante sendo constituído por 25% de proteína e minerais e 25% de gordura, chega-se a aproximadamente valor de 3,8 milhões de t em produtos não comestíveis e(ou) recicláveis (farinhas e gordura animal). Isso tem um valor econômico significativo aproximando-se a R\$ 2 bilhões/ano. Uma grande parte desse valor é agregado na indústria de rações, a qual movimentava cerca de R\$ 12 bilhões/ano. Por isso, toda consideração que se faça aos subprodutos de origem animal, deve se ter em mente o que representam para o país. Evidentemente que, defende-se a melhoria da qualidade dos subprodutos de modo a tratá-los como “ingredientes” e não commodities, cujo comércio, dispensa maiores cuidados sobre qualidade nutricional e sanitária, tendo sido discutido esse aspecto por Bellaver (2000).

5 Processamento das FOA

O processo básico de produção de farinhas animais pode ser visualizado conforme o esquema geral mostrado na Figura 2. Consiste em retirar os excessos de água, picar e/ou triturar os resíduos não comestíveis de matança, quando isso for necessário devido ao tamanho das peças, levá-los aos digestores para cocção com ou sem pressão, por tempo variável dependendo do processo, sendo a gordura drenada, prensada ou centrifugada e o resíduo sólido moído na forma de farinha com especificações de granulometria variáveis. Benati (s.n.t.), indicou vários pontos onde a qualidade das farinhas pode ser prejudicada, os quais seguem-se. a) umidade: sendo superior a 8% poderia facilitar a contaminação bacteriana e suas conseqüências e se, com umidade muito baixa, indicaria a queima do ingrediente no processo. A queima poderia estar associada ao desgaste do equipamento, excessivo tempo de retenção e(ou) mau funcionamento de manômetros e termômetros; b) textura: na composição da farinha entram em quantidades variáveis os ossos que são de difícil trituração, mas que podem ser segregados pedaços maiores para remoagem e manutenção de granulometria adequada. A textura ideal seria sem retenção em peneira Tyler 6 (3,36 mm), no máximo 3% de retenção na Tyler 8 (2,38 mm) e no máximo 10% de retenção na peneira Tyler 10 (1,68 mm); c) contaminações no processo (sangue, penas, resíduos de incubatório, cascos, chifres, pêlos, conteúdo digestivo), as quais devem ser minimizadas em função da definição de cada produto produzido e manutenção dos padrões de qualidade e repetibilidade; d) contaminações com materiais estranhos ao processo, em geral são associadas a falta de equipamentos adequados ou fraude e visam produzir subprodutos de baixo preço e sem qualidade. Deveriam aqui ser considerados a não inclusão de animais mortos, de qualquer procedência; e)

tempo entre o abate e o processamento está se tornando muito importante devido ao aparecimento de novos processadores independentes. O processamento deve ser feito preferencialmente em seguida ao abate ou sempre dentro das 24 horas seguintes ao abate, evitando assim a putrefação.

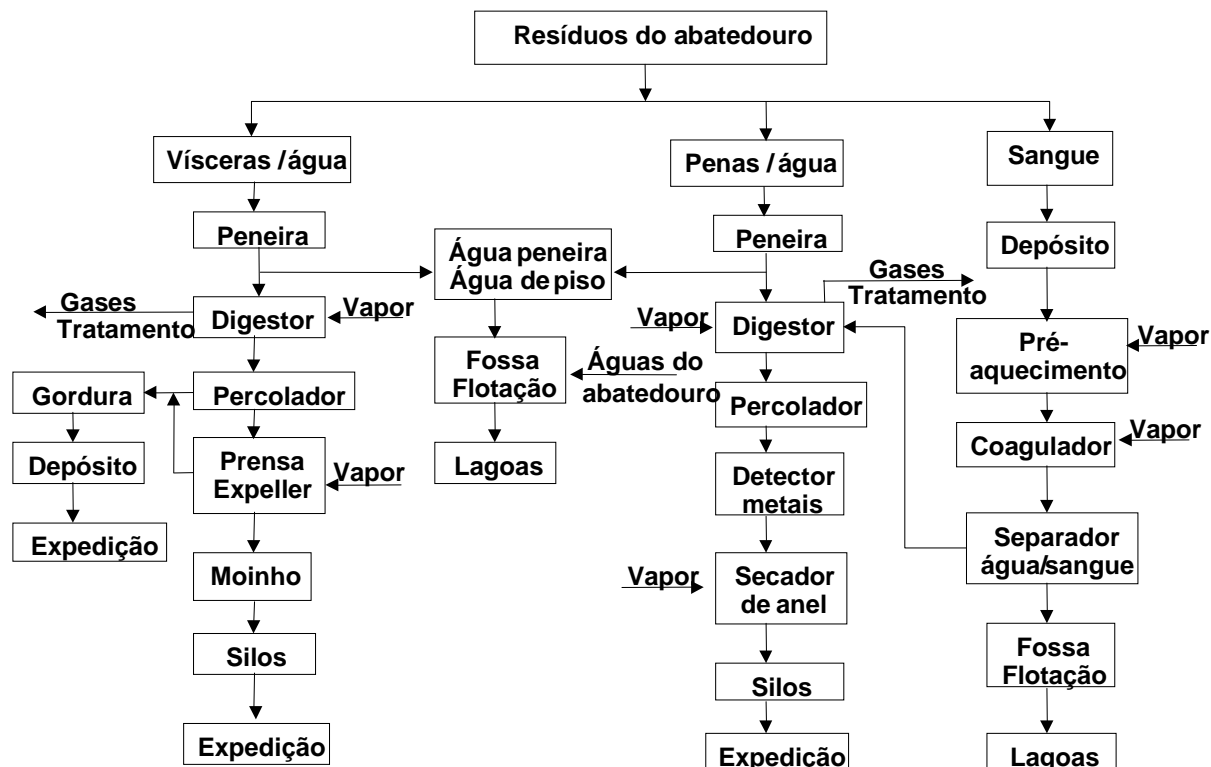


Figura 2 — Fluxograma industrialização de subprodutos, segundo Maffi (1994).

6 Limitações das FOA para uso em rações

O conhecimento da origem do material a ser processado é essencial para indicar a qualidade e, se desconhecido, pode ser um problema. Embora os custos e as facilidades para analisar cada partida do ingrediente tornem a rotina de análise difícil de ser implementada, é preciso ter em mente que a qualidade das FOA é perceptível a partir da: a) contaminação bacteriana (Salmonelas, Coli), b) peroxidação das gorduras, c) presença de poliaminas, d) possibilidade da presença de prions causadores de encefalopatias espongiformes, e) composição química f) digestibilidade dos aminoácidos e da energia e g) características sensoriais.

6.1 Contaminação por Salmonela

As temperaturas de processamento de farinhas eliminam grande parte, senão toda a contaminação bacteriana dos subprodutos. Entretanto, a recontaminação das

farinhas é algo que tem grande chance de acontecer devido ao manuseio, transporte e outros fatores do ambiente e por isso, deve ser monitorada ao longo do ano, evitando a perda de qualidade por recontaminação. Para reduzir o risco de bactérias em farinhas, tem sido prática comum nas graxarias, adicionar no processo de farificação, substâncias a base de formaldeído, que impedem o crescimento bacteriano. Embora seja um procedimento desejável, isso pode em hipótese reduzir a digestibilidade dos aminoácidos e da energia das farinhas, havendo que se testar o efeito dessas substâncias sobre ao metabolismo digestivo dos animais. É interessante notar que a contaminação por salmonela acontece também em ingredientes vegetais, segundo John (1991) e mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 — Contaminação por Salmonela em ingredientes no Reino Unido¹

Ingredientes de origem	Amostras + Salmonela	Amostras - Salmonela	%
Vegetal	59 ²	808	7,3
Animal	8	139	5,8

¹ Resultados do Reino Unido – Ministério da Agricultura, referido por John (1991), onde 5 fabricantes de rações enviaram 963 amostras; ² Das amostras vegetais a maior contaminação foi no farelo de algodão (18 amostras), seguida por farelo de arroz (5), canola (5), polpa de beterraba (4), farinha de padaria (4), trigo (3), farelo de soja (3) e casca de soja (3), o que completa 45 amostras, ou 76% das amostras contaminadas (45/59).

6.2 Peroxidação das gorduras

As farinhas de origem animal são ricas em gorduras e por conseguinte tem maior facilidade em se autoxidarem, pelo início da formação de radicais livres. A revisão feita por Rutz e Lima (1994) enfatiza que a oxidação é um processo autocatalítico e desenvolve-se em aceleração crescente, uma vez iniciada. Fatores como temperatura, enzimas, presença de enzimas, luz e íons metálicos podem influenciar a formação de radicais livres. O radical livre em contato com oxigênio molecular forma um peróxido que, em reação com outra molécula oxidável, induz a formação de hidroperóxido e outro radical livre. Os hidroperóxidos dão origem a dois radicais livres, capazes de atacar outras moléculas e formar mais radicais livres, dando assim uma progressão geométrica. As moléculas formadas, contendo o radical livre, ao se romperem formam produtos de peso molecular mais baixo (aldeídos, cetonas, álcoois e ésteres), os quais são voláteis e responsáveis pelos odores da rancificação. O esquema dessas reações pode ser visto em Adams (1999).

A acidez de uma gordura é freqüentemente expressa em termos de ácidos graxos livres, a qual é medida como uma quantidade em mg de hidróxido de sódio requeridos para neutralizar os ácidos graxos livres de 1 g de gordura. A pressuposição em geral é feita em relação ao ácido oléico como padrão. Um aumento de ácidos graxos livres em gorduras pode indicar deterioração na qualidade devido ao aumento da hidrólise e ao desenvolvimento da rancidez. Contudo, um nível elevado de acidez nas gorduras nem sempre é indicativo de má qualidade. Gorduras de restaurantes e soap-stock da indústria de óleo de soja tem alta quantidade de ácidos graxos livres.

Por isso, é importante impedir o início da formação de radicais livres, que poderá ser feito pelo manejo adequado de produção e armazenamento. Substâncias

antioxidantes naturais (vit. E, pigmentos xantofilicos, Se) e sintéticas (BHT, BHA, etoxiquim), podem ser incorporadas para diminuir a autoxidação dos ácidos graxos das farinhas. Cabel et al. (1988) verificaram efeito depressivo a medida que aumenta o nível de peróxidos na dieta, mas Raccanici et al. (2000), concluíram que 500 mg/kg de BHT adicionado a farinha de carne e ossos previne a rancidez oxidativa, quando feita até sete dias da produção da farinha.

6.3 Poliaminas (Aminas biogênicas)

As poliaminas (putrescina, espermidina e espermina) estão presentes em diferentes concentrações nos alimentos vegetais e animais e parecem ser a fonte principal de poliaminas para o homem e animais. A absorção das poliaminas no intestino é dependente das enzimas catabólicas presentes no tecido intestinal (Bardócz et al., 1993). Esses autores entendem que há exigência de poliaminas e que se não atendidas pela biosíntese celular, devem então ser supridas pela dieta. Por outro lado as poliaminas tem sido apontadas como substâncias que causam toxicose quando ingeridas pelos animais. A putrescina que é a mais simples das aminas biogênicas, usada até 0,2%, foi considerada promotora do crescimento de frangos e tóxica, à medida que aumenta o consumo até 1% (Smith, 1990).

Segundo Sousadias e Smith (1995), a espermina que é a mais carregada das aminas biogênicas, foi considerada tóxica quando administrada no nível de 0,2%, havendo também tendência de piora no desempenho quando utilizada na concentração de 0,1% na dieta. A suplementação com cisteína não impediu a ação tóxica da espermina. Na seqüência, o trabalho de Smith et al. (1996), revelou que outra amina biogênica, a espermidina, também é tóxica para frangos a partir de 0,4%. Esses autores ainda concluíram que a toxicidade aumenta com o aumento do peso molecular e carga das aminas biogênicas. A putrescina: $H_2N^+(CH_2)_4NH_2$ é menor e menos carregada, seguindo-se da espermidina: $H_2N^+(CH_2)_3N^+H(CH_2)_4NH_2$ e espermina: $H_2N^+(CH_2)_3N^+H(CH_2)_4N^+H(CH_2)_3NH_2$. Em contraste, Miles et al. (2000), avaliaram o efeito de oito aminas biogênicas (cadaverina, histamina, putrescina, espermidina, espermina, tiramina, triptamina e fenitilamina), usadas em várias concentrações (0 a 1500 ppm) em dietas de frangos e não encontraram efeito prejudicial no desempenho dos animais. As concentrações usadas por Miles et al. (2000) foram mais baixas em relação àquelas usadas pelos demais autores consultados.

De acordo com a literatura, fica claro que o efeito depressivo no crescimento dos animais devido a presença de aminas biogênicas é dependente do peso molecular, da carga catiônica, bem como das concentrações de aminas biogênicas existentes na dieta.

6.4 Encefalopatia Espongiforme Bovina

Recentemente a doença da “vaca louca” ganhou destaque na mídia devido a crise internacional que afetava as exportações brasileiras de carne. Prontamente o MAPA tomou medidas de rastreabilidade de animais importados visando a eliminação destes

e também foi divulgada uma instrução normativa¹, a qual foi substituída mais tarde², sendo que a norma em vigor visa disciplinar a produção e uso de proteínas animais na alimentação de ruminantes. A instrução normativa nº 15 proíbe o uso de qualquer proteína animal na alimentação de ruminantes, inclusive da cama de aviários. A novidade dessa norma é que antecipa a necessidade de programas de Análise de Riscos e Pontos Críticos de Controle - ARPCC, visando a fiscalização da produção e o comércio de alimentos para animais.

A proibição é oportuna no aspecto geral, porém algumas considerações precisam ser feitas em nome da clareza sobre o assunto. Muito embora a norma traga grande possibilidade de melhoria na qualidade das farinhas animais e rações em geral, por si só não é eficaz. É necessário considerar que a fiscalização depara-se com problemas estruturais, conforme discutido por Bellaver (1999). Além disso, os processos industriais usados atualmente na obtenção dessas matérias primas, não garantem a inativação do agente da Encefalopatia Espongiforme Bovina (EEB), podendo isso ser conseguido com ajustes do processo. Quando bem processadas, as FOA não constituem risco, mas programas especiais de apoio industrial que envolve a aplicação de APPCC nas graxarias e fábricas de rações, precisam ser criados urgentemente pois são indispensáveis. Cabe lembrar, que a melhoria dos subprodutos de origem animal dependem da origem e do processo de produção das farinhas. Em contrário, a falha desse enfoque, leva ao crescente risco de BSE pelos seguintes motivos: a) dificuldades na fiscalização eficaz da norma, b) aumento dos confinamentos bovinos constatados pelo maior consumo de rações bovinas (130% de aumento de consumo de rações de bovinos de corte que passou de 471 mil t em 1999 para 1,08 milhão de t, em 2001), c) aumento excessivo do preço da soja e d) aumento do número de graxarias e existência de graxarias com processos insatisfatórios.

O encaminhamento a ser dado se baseia em programas de APPCC dirigidos, educativos e voluntários levando em consideração aspectos levantados na comissão européia (European Commission, 1997). O foco da discussão dessa conferência se baseou em três princípios: a) fontes seguras, b) processos seguros e c) uso seguro. Entendemos que os representantes de toda cadeia de produção animal devem discutir o assunto da produção e consumo da farinhas de origem animal em rações animais de modo a organizar um sub-setor que precisa de aporte tecnológico.

6.5 Composição e digestibilidade dos aminoácidos e da energia

Existem várias fontes de consulta sobre a composição das farinhas, entre as quais destacamos Aminodat (1997), Amipig (2000), Embrapa (1991), NRC (1994), NRC (1998), Novus (1997), Rostagno et al. (2000), WPSA (1992). Embora há diversidade de informações, há também necessidade de contínua melhoria das estimativas com aprimoramento dos métodos de determinação da digestibilidade nas espécies. As modernas formulações de rações, que levam em consideração o conceito de proteína ideal, pressupõe para a adequada relação entre os AA e o conhecimento dos valores de aminoácidos digestíveis. As digestibilidades da energia e dos aminoácidos podem não seguir uma mesma tendência de digestão e por isso é importante conhecer os valores estimados separadamente mas para as mesmas amostras.

¹ Instrução Normativa Nº 6 de 01 e 02 fevereiro de 2001. DOU Seção 1 página 4. MAPA

² Instrução Normativa Nº 15, 17 de Julho de 2001. MAPA

Dentro da composição nutricional das farinhas é importante ter em mente a ordem de limitação dos aminoácidos o que irá auxiliar na formulação das dietas. Wang et al. (1997) e Wang e Parsons (1998a) estabeleceram a ordem de limitação de aminoácidos (Tabela 2). Muitos dos agrupamentos de farinhas tem sido feitos com base na proteína, sendo questionável a utilização de apenas uma variável para classificação (proteína). A composição das farinhas é bastante variável e por isso, agrupá-las quanto as suas características multivariadas, permite uma melhor classificação. A análise de clusters feita por Bellaver et al. 2000, confirma que esse método permite uma melhor categorização das farinhas. Os autores trabalharam com 61 farinhas de carne de origem americana e brasileira, encontrando cinco grupos distintos que podem ser identificados na Tabela 3. A variabilidade se deve a vários efeitos entre os quais, o tamanho das partículas (Brugalli et al., 1999), os níveis de substituição na ração referência (Brugalli et al., 1999 e Nascimento et al., 2000), as metodologias para estimar a digestibilidade/biodisponibilidade (Sibbald, 1979; Parsons, 1985; Kadim e Moughan, 1997; Johns et al., 1986; Batterham et al. 1986 b; Nogueira et al., 2000a e Nogueira et al., 2000b), a origem e composição das farinhas (Wang e Parsons, 1998c; Dale, 1997; Bellaver et al., 2001), o processamento (Johns et al., 1986; Wang e Parsons, 1998c; Batterham et al., 1986a e Moritz e Latshaw, 2001).

Tabela 2 — Ordem da limitação de AA em FCO e PBP

Aminoácido	FCO	PBP
Cistina	1	1
Triptofano	1	2
Treonina	2	3
Isoleucina	3	5
Fen. + Tirosina	3	3
Metionina	4	5
Lisina	5	4
Valina	6	5
Histidina	6	5

Wang et al. (1997) e Wang e Parsons (1998a).

7 Vantagens econômicas do uso de farinhas de origem animal

O conhecimento atual na formulação de dietas para não-ruminantes prevê um balanço teórico dos aminoácidos em relação a lisina da dieta, sendo que os cálculos de fórmulas com base na proteína ideal (PI) devem considerar além da exigência por nutriente digestível, a digestibilidade dos aminoácidos nos ingredientes. A formulação com base na PI será tão mais eficaz, quanto mais forem os ingredientes alternativos ao milho e ao farelo de soja. Com o objetivo de comparar formulações de dietas utilizando o conceito de PI e farinha de vísceras (FV) em substituição ao farelo de soja, em dietas de frangos de corte Bellaver et al. (2001), conduziram experimento

Tabela 3 — Análise de *clusters* que minimiza a distância entre os grupos¹

FCO	Grupo	n	MS	PB	EE	MM	DGM	Lysd
Todas	1	29	93,9	47,9	12,3	34,8	774,8	82,5
	2	32	96,0	54,6	16,6	27,4	821,1	70,0
Brasil	1a	6	93,3	60,3	13,8	21,1	861,7	84,0
	1b	8	94,2	46,8	14,2	32,7	843,3	83,5
	1c	15	94,0	43,5	10,7	41,4	703,6	81,5
USA	2a	11	96,6	55,3	17,2	24,2	870,9	62,1
	2b	21	95,6	54,2	16,4	29,1	795,1	74,2

Bellaver et al. (2000) ¹ As médias entre os grupos 1 e 2 são diferentes pelo teste t em varios níveis de signif. (P< 0.02 até P< 0.0001) exceto para DGM (P< 0.17).

com frangos concluindo que a formulação com a inclusão de 20% de FV na fase inicial e 25% na fase de crescimento de frangos de corte, em substituição ao farelo de soja, melhorou o desempenho até os 21 dias e não alterou o desempenho até os 42 dias, em dietas formuladas dentro do conceito de PI.

Os resultados de Wang e Parsons (1998b), mostraram que a inclusão de 10 ou 20% de farinha de carne e ossos de baixa ou alta qualidade em dietas a base de milho e farelo de soja na base de aminoácidos totais diminuiu o ganho de peso e (ou) a eficiência alimentar. Porém, quando as dietas foram formuladas na base de AA digestíveis, 10% da FCO de baixa qualidade ou 10 ou 20% de FCO de alta qualidade tiveram pouco ou nenhum efeito sobre a performance.

Algumas simulações foram feitas com farinhas de carne e de vísceras variando os preços do farelo de soja, tendo alvo frangos de corte e com formulações a base de AA totais e digestíveis. Conforme o que pode ser visto nas Tabelas 4, 5 e 6, tanto na base de aminoácidos totais como digestíveis, em rações de frangos de corte, há inclusão entre 6 e 10% com conseqüente redução dos custos de 3 a 7%. A redução de custo tende a ser menor com aminoácidos digestíveis do que com AA totais. Entretanto a expectativa de ganhos e melhoria da eficiência alimentar será maior com aminoácidos digestíveis, conforme demonstrado acima.

Tabela 4 — Valorização das FC ou FCO em rações para frangos de corte (R\$/t)

F. soja 48 R\$/ton	Ingredientes avaliados	Frango Inicial		Frango Final	
		AA Total	AA Dig	AA Total	AA Dig
450	Fcarne 40	581	530	584	530
	Fcarne 50	682	647	676	647
	Fvísc. 60	680	635	666	635
500	Fcarne 40	620	579	630	579
	Fcarne 50	733	707	734	707
	Fvísc. 60	740	705	734	705
550	Fcarne 40	668	628	678	628
	Fcarne 50	793	767	794	767
	Fvísc. 60	809	775	804	775

Krein (2001).

Tabela 5 — Valorização da farinha de carne em relação ao F. soja (base 100)

F. soja 48 R\$/ton	Ingredientes avaliados	Frango Inicial		Frango Final	
		AA Total	AA Dig	AA Total	AA Dig
450	Fcarne 40	129	118	130	118
	Fcarne 50	152	144	150	144
	Fvísc. 60	151	141	148	141
500	Fcarne 40	124	116	126	116
	Fcarne 50	147	141	147	141
	Fvísc. 60	148	141	147	141
550	Fcarne 40	121	114	123	114
	Fcarne 50	144	139	144	139
	Fvísc. 60	147	141	146	141

Krein (2001).

Tabela 6 — Utilização da farinha de carne 50 (R\$ 450,00/t) em rações p/ frangos de corte (incorporação % nas fórmulas e redução nos custos, em relação a rações sem far. de carne, variando o preço do farelo de soja R\$/ton)

F. soja 48 R\$/ton	Variável	Frango Inicial		Frango Final	
		AA Total	AA Dig	AA Total	AA Dig
450	Uso%	8,96	6,80	7,28	3,99
	Redução%	4,94	3,88	3,37	2,78
500	Uso%	9,04	9,04	7,28	7,29
	Redução%	5,83	5,41	4,55	4,03
550	Uso%	10,03	10,03	7,28	7,61
	Redução%	6,93	6,54	5,66	5,50

Krein (2001).

8 Conceito de qualidade certificada das FOA

A rastreabilidade de procedimentos para a produção animal é uma exigência que vem sendo amplamente buscada por governos da Europa e Japão. Vários documentos tem sido emitidos por comitês especializados e que dão suporte a Comissão Européia e ao Codex Alimentarius. De acordo com FAO (1997), as negociações da Organização Mundial do Comércio (WTO) dependem de dois regulamentos que definem as medidas Sanitárias e Fitosanitárias (SPS) e o das barreiras técnicas sobre o comércio (TBT), sendo que ambos documentos tem implicações sobre o Codex Alimentarius. O grupo consultivo da FAO reconheceu que o aumento das demandas científicas, legais e políticas estão sendo feitas baseadas em padrões, regras e recomendações elaborados pelo Codex. Portanto, o ajuste das normas nacionais com as do Codex é importante, pois há um interesse crescente em segurança alimentar, tanto nos acordos do SPS e TBT pela WTO, como em iniciativas de harmonização entre países. Foi identificado assim, que há necessidade de maior rigor científico, transparência e diminuição de regulações nacionais mantendo-se as normas internacionais. Para que isso seja implementado, é necessário estabelecer um código de boas práticas de alimentação animal.

Os registros de doença da vaca louca indicam que a doença se espalha pelo mundo (Dinamarca, Itália, Japão, Eslováquia e Holanda antes livres, já não o são) e que são necessárias medidas de vigilância sanitária para o controle da doença e praticas de melhoria da qualidade. Um instrumento importante para a melhoria de qualidade é a adoção de programas de APPCC. Muito embora os programas APPCC estão bem definidos na indústria de alimentos, não estão suficientemente claros quanto a aplicação na produção animal.

Programas de controle e auditoria de qualidade de rações e ingredientes começam a ser implementados em países envolvidos com produção animal intensiva. No Canadá (Douglas, 2001 e Dornan, 2001) e EUA (Jones, 1998; Muirhead, 2001a, b) os programas de APPCC vem sendo enfatizados na produção de rações como parte

integrante do complexo alimentar de carnes. Também foi mostrado por Gill (2001) que há necessidade de certificação de ingredientes protéicos em função principalmente das novas regulamentações que envolvem as encefalopatias transmissíveis (TSE, BSE) e alimentos geneticamente modificados. Experiências como representam avanços no processo de certificação de qualidade com rastreabilidade.

Assim, os programas APPCC aplicados à indústria de rações são instrumento de gestão de segurança de alimentos, podendo ser aplicado de modo sistemático, preventivo e pró-ativo sobre as questões acima descritas e que são gargalos da produção de rações e ingredientes. Baseia-se em sete princípios que são: 1) análise dos perigos, 2) identificação dos pontos críticos, 3) estabelecimento de medidas preventivas com limites para os pontos críticos, 4) estabelecimento procedimentos para monitorar os pontos críticos, 5) estabelecimento de ações corretivas quando os pontos críticos forem observados, 6) estabelecimento de procedimentos para detectar se o sistema está funcionando corretamente e 7) manter relatórios do sistema APPCC.

Com a aplicação de APPCC, há vantagens para todos, pois ao governo, a manutenção de relatórios permite uma supervisão constante de como uma firma está atendendo as especificações sem ser uma investigação casual. Nos fabricantes de alimentos e de rações aumenta a responsabilidade de assegurar a qualidade prometida, mas também aumenta a competitividade da empresa reduzindo as barreiras internacionais devido a excelência na qualidade confirmada por programas auditados. O consumidor que é o alvo dos produtos, fica mais seguro da qualidade dos produtos sem que o preço seja a única variável de interesse. Com isso, aproximam-se os interesses dos elos da cadeia alimentícia de carne, produtores, consumidores e governo. Corroborar com essa idéia, Muirhead (2001c), que ao reportar-se ao pronunciamento do presidente da Associação Americana da Indústria de Alimentos Animais (AFIA) enfatiza que a prioridade número um do governo, das agências reguladoras e da AFIA, é a segurança alimentar e a credibilidade junto aos consumidores. Para que isso aconteça, segundo o presidente é preciso “falar a verdade e falar freqüentemente”. A AFIA por sua vez, promoveu a criação em Fevereiro de 2001 do Facility Certification Institute, o qual, em cerca de cinco meses certificou 200 empresas com mais de 15 milhões de toneladas de rações.

O MAPA, Embrapa e SENAI devem juntar esforços criando uma linha de recursos para financiar pesquisas e desenvolver programas de APPCC aplicados às indústrias de produção de farinhas. O Programa APPCC-Campo proposto pelo SENAI, Embrapa e SEBRAE deve urgentemente ser dotado de recursos para sua execução. Por sua vez, o próprio setor de produção de farinhas deve se juntar em uma associação nacional (a exemplo do que existe nos EUA), visando a busca de interesses comuns tais como: a) atendimento da legislação por todos os participantes, b) elevação dos padrões de qualidade da produção industrial de farinhas, c) difusão de conhecimentos científicos dentre os associados, d) melhoria dos conhecimentos através da contratação de pesquisas específicas.

A Embrapa Suínos e Aves, está buscando formar parcerias com o MAPA e indústrias do setor, para antecipar-se com uma proposta de projeto de P&D em segurança alimentar e certificação de qualidade de insumos para rações e produtos finais. O projeto ainda não está aprovado e depende de recursos e entendimento da problemática geral das farinhas animais, o que se espera, aconteça. Visa definir normas com base científica para a certificação de ingredientes e rações,

utilizando os programas BPF e(ou) APPCC e que incluam características nutricionais, microbiológicas e químicas em conformidade com a Instrução Normativa no. 15 de 17-7-01 emitida pelo MAPA e outras que venham a surgir.

9 Conclusões

- As farinhas de origem animal são ingredientes importantes quanto aos aspectos econômico, sanitário e nutricional. Seu uso na formulação de dietas é facilitado por conterem aminoácidos, energia, cálcio e fósforo em quantidades apreciáveis;
- O efeito das FOA sobre o performance pode ser modificado por vários fatores, tais como:
 - tipo e qualidade do material processado;
 - processamento (temperatura, pressão e tempo de retenção);
 - uso de antioxidantes durante e após o processamento;
 - contaminação por Salmonela e outros microrganismos;
 - presença de poliaminas em grandes concentrações;
 - tamanho e segregação de partículas, especialmente ossos;
 - porcentagem de nutrientes e digestibilidade dos mesmos;
 - energia metabolizável das farinhas.
- O banimento total de farinhas de origem animal na alimentação animal, é uma medida drástica, que deveria ser utilizada apenas em caso de falta de outras alternativas. Previamente a essa medida deveriam ser esgotadas alternativas preliminares, que incluem os programas de certificação, devidamente auditados por empresas independentes e com credibilidade pública.
- Os programas de análise de perigos e controle de pontos críticos (APPCC / HACCP) e de boas práticas de fabricação (BPF), devem levar em conta as necessidades do mercado internacional, uma vez que essa tem sido a principal diretriz da qualidade da carne. Evidentemente que os programas devem ser aplicados também para o mercado interno, o que garantirá a satisfação dos clientes em geral.
- Finalmente, deve haver apoio de recursos financeiros, por parte de instituições do governo (MAPA / SENAI), para aplicar em programas voluntários de APPCC e também na pesquisa, os quais podem contribuir com a melhoria da qualidade das farinhas, mesmo com as dificuldades atuais da fiscalização de qualidade das farinhas de origem animal.

10 Referências Bibliográficas

- AMINODAT. 1.1. Degussa AG. Frankfurt. 1997. Disquete 3,5".
- ADAMS, C. A. Oxidations and antioxidants. In: *Nutricines. Food components in Health and Nutrition*. Nottingham Univ. Press. Chapter 2. p.11–34. 1999.
- AMIPIG: Ileal standardised digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs. Paris. Association Française de Zootechnie. 2000. 1 CD-ROM.
- BARDÓCZ, S.; GRANT, G. et al. Polyamines in food - implications for growth and health. *J. Nutr. Biochem.* 4:66–71. 1993.
- BATTERHAM, E. S.; DARNELL, R. E. et al. Effect of pressure and temperature on the availability of lysine in meat and bone meal as determined by slope-ratio assays with growing pigs, rats and chicks and by chemical techniques. *Br. J. of Nutr.* 55:441–453. 1986 a.
- BATTERHAM, E. S.; LOWE, R. F. et al. Availability of lysine in meat meal, meat and bone meal and blood meal as determined by slope-ratio assay with growing pigs, rats and chicks and by chemical techniques. *Br. J. of Nutr.* 55:427–440. 1986 b.
- BELLAVER, C. O nutricionista frente a sustentabilidade da produção animal. In: *Simpósio sobre as implicações sócio-econômicas do uso de aditivos na produção animal, 1999, Piracicaba, SP*. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal. p.1-22.1999.
- BELLAVER, C. Implicações da qualidade das farinhas de carne e ossos sobre a produção de rações animais. *Suinocultura Industrial*. Porto Feliz. Gessulli. out/nov 2000 (147):16–20.
- BELLAVER, C.; BRUM, P. A. R. de, et al. Cluster analysis for meat and bone meals from USA and Brazil. 8th Symposium On Digestive Physiology In Pigs, Uppsala, CAB. Chapter 101:357–359. 2000.
- BELLAVER, C. Ingredientes de origem animal destinados à fabricação de rações. In: *Simpósio sobre Ingredientes na Alimentação Animal*. Campinas-SP p.167–190.18 a 20 de Abril de 2001.
- BELLAVER, C., BRUM, P. A. R. de, et al. Utilização de dietas com base na proteína ideal para frangos de corte de 1 a 42 dias utilizando farinha de vísceras de aves. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*. Suplemento 3. Trabalhos de Pesquisa. p.44-45. FACTA. Campinas. 2001.
- BENATI, M. Critérios para avaliação da qualidade de ingredientes para ração: Ênfase em farelo de soja e farinha de carne. S.n.t.
- BRUGALLI, I., ALBINO, L. F. T. et al. Efeito do tamanho da partícula e do nível de substituição nos valores energéticos da farinha de carne e ossos para pintos de corte. *Rev. Bras. de Zootec* 28(4):753–757. 1999.
- CABEL, M. C.; WALDROUP, P. W. et al. Effects of ethoxyquim feed preservative and peroxide level on broiler performance. *Poultry Sci.*6:1725–1730. 1988.
- Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal*. São Paulo: SINDIRAÇÕES/ANFAL; Campinas: CBNA/SDR/MA, 371 p. 1998. Dale, N. Metabolizable energy of meat and bone meal. *J. Appl. Poultry res.* 6:169–173.1997.
- DORNAN, R. J. Quality assurance implementation in the Canadian feed industry. Super Tech Feeds. Disponível em: <http://www.agric.gov.ab.ca/livestock/poultry/psiw9603.html> Acesso em 17 jun. 2001.
- DOUGLAS, J. HACCP principles can work effectively in a feed mill. *Feedstuffs* 73(19):27, 40–43. 2001.

- EMBRAPA. CNPSA. Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves. 3. Ed. Concórdia, SC, 97p. 1991.
- EUROPEAN COMMISSION. Consultation paper on meat and bone meal. http://europa.eu.int/en/comm/dg06/vet/bse/01_en/summary.htm. 1997.
- FAO. Animal feeding and food safety. Report of a FAO Expert Consultation. 28p. March 1997.
- FAO. WHO. Codex Alimentarius Commission. Ad-hoc intergovernmental Codex task force on animal feeding. 13 p. First Session. Dinamarca. 13–15 Junho 2000.
- FAO. WHO. Codex Alimentarius Commission. Report of the 2nd. Session of the ad-hoc intergovernmental Codex task force on animal feeding. 27 p. Dinamarca. 19–21 March 2001.
- FARMLAND. http://www.farmland.com/feed_ingredients/index.html. 2001.
- GILL, C. Productos de proteínas animales y marinas com marcas registradas. Alimentos balanceados para animales. p14–16. Março-Abril 2001.
- JOHN, R. E. Alternative Animal Products: The Industry. file:///D:/AAABellaver/Trabalhos/Files/Farinhas /Material_palestra/Alternative_Animal_Products_The_Industry.html. 1991.
- JOHNS, D. C., LOW, C. K. et al. Comparison of amino acid digestibility using ileal digesta from growing chickens and canulated adult cockerels. Br. *Poultry Sci.* 27:679–685. 1986.
- JONES, F. J. Planos HACCP para plantas de alimentos. *Indústria Avícola*. Abril: 14–15. 1998.
- KADIM, I. T. e Moughan, P. J. Development of an ileal amino acid digestibility assay for the growing chicken: effects of time after feeding and site of sampling. Br. *Poultry Sci.* 38:89–95. 1997.
- KREIN, P. Comunicação pessoal. 2001 Miles, R.D., Wilson, H.R. et al. Biogenic amines: I. Influence of feeding various dietary concentrations of eight biogenic amines individually or in combination to broilers. *Poultry Sci.* 79(suppl.):125. 2000.
- MORITZ, J. S. e LATSHAW, J. D. Indicators of nutritional value of hydrolyzed feather meal. *Poultry Sci.* 80:79-86. 2001.
- MUIRHEAD, S. Food safety incidents have some looking to extend HACCP throughout food, feed production chains. *Feedstuffs* 73(19):1, 22–23. 2001a.
- MUIRHEAD, S. International feed industry moves toward HACCP. *Feedstuffs* 73(19):26, 36. 2001b.
- MUIRHEAD, S. 2001c. AFIA official calls for industry, government to unite on food safety.
- NASCIMENTO, A. H., GOMES, P. C. et al. Valores de energia metabolizável da farinha de vísceras determinados com diferentes níveis de inclusão e duas idades de aves. In: XXXVII Reunião Anual da SBZ. Viçosa-MG. Trabalho 293 CD ROM. 2000.
- NOGUEIRA E. T., LOPES, D. C. et al. Coeficientes de digestibilidade ileal verdadeira de aminoácidos de alimentos proteicos utilizando a técnica da cânula T simples com suínos em crescimento. In: XXXVII Reunião Anual da SBZ. Viçosa-MG. Trabalho 238 CD ROM. 2000b.

- NOGUEIRA E. T., Mascarenhas, A.G. et al. Coeficientes de digestibilidade ileal verdadeira de aminoácidos de alimentos proteicos utilizando a técnica da anastomose ileo-retal com suínos em crescimento. In: XXXVII Reunião Anual da SBZ. Viçosa-MG. Trabalho 239 CD ROM. 2000b.
- NOVUS. Raw material compendium: a compilation of worldwide data sources. Brussels. 541p. 1994.
- NRC. National Research Council. Nutrient Requirements of Poultry. 1994. Washington. 155p.
- NRC. National Research Council. Nutrient requirements of swine. 10th. Ed. 1998. Washington. 189p.
- PERFIL DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. 2001. ANFAL/SINDIRAÇÕES. Folder. São Paulo. SP.
- RACANICCI, A. M. C.; MENTEN, J. F. M. et al. Efeito da adição de antioxidante BHT e do armazenamento sobre a qualidade da farinha de carne e ossos para frangos de corte. Rev. Bras. de Ciencia Avícola 2(2):155–161. 2000.
- ROSTAGNO, H. S. ALBINO, L. F. T. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, UFV. 141p. 2000.
- RUTZ, F. e LIMA, G. LM. M. Uso de antioxidantes em rações e subprodutos. In: Conferencia APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas. Anais... FACTA. Campinas. P.73–84. 1994.
- SIBBALD, I. R. A bioassay for available amino acids and true metabolizable energy in feedingstuffs. *Poultry Sci.*, v.58, p.668–673, 1979.
- SMITH, T.K. 1990. Effect of dietary putrescine on whole body growth and polyamine metabolism. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 194:332.
- SMITH, T. K.; Mogridge, J. A. et al. 1996. Growth promoting potential and toxicity of spermidine, a polyamine and biogenic amine found in foods and feedstuffs. *J. Agric. Food. Chem.* 44:518–521.
- SOUSADIAS, M. G. e T. K. Smith. Toxicity and growth-promoting potential of spermine when fed to chicks. *J. Anim. Sci.* 73:2375–2381. 1995.
- WANG, X e PARSONS, C. M. Effect of raw material source, processing systems and processing temperatures on amino acid digestibility of Meat and Bone Meals. *Poultry Sci.* 77:834–841.1998c.
- WANG, X. e PARSONS, C. M. Order of amino acid limitation in poultry by-product meat. *Br. Poultry Sci.* 39:113-116. 1998a. Wang, X. e Parsons, C.M., Dietary formulation with meat and bone meal on total versus a digestible or bioavailable amino acid basis. *Poultry Sci.* 77:1010–1015. 1998b.
- WANG, X., CASTANON, F. et al. Order of amino acid limitation in meat and bone meal. *Poultry Sci.*76:54–58.1997.
- WPSA. *World Poultry Science Association*. European amino acid table. 123. 1992.

FUNDAMENTAÇÕES PARA A NUTRIÇÃO DIFERENCIADA DE LINHAGENS DE FRANGOS DE CORTE

Sergio L. Vieira

Simone Pophal

Depto. de Zootecnia UFRGS – Porto Alegre – RS

Os genótipos utilizados na indústria avícola vêm sofrendo mudanças significativas nas últimas décadas. Ainda que os critérios de seleção principais sejam basicamente os mesmos entre as várias fontes comerciais, diferenças existem provavelmente devido às origens das linhas macho e fêmea utilizadas. A pressão de seleção tem feito que linhagens modernas de frangos de corte selecionadas para um crescimento mais rápido apresentem também uma maior deposição de gordura.

A gordura é um componente de baixo valor comercial. Além disso, é um componente corporal de síntese cara sob o ponto de vista energético, pois quanto maior sua proporção menor a eficiência de conversão de nutrientes. A gordura corporal pode ser influenciada pela dieta, mas depende também das características genéticas de cada linhagem (Leclercq, 1988). A comercialização de frangos em cortes comerciais acentua a importância da proporção de gordura corporal, uma vez que todo depósito abdominal é descartado no processo estabelecendo uma correlação negativa entre o rendimento comercial das partes e a quantidade de gordura abdominal.

Há evidências que as linhagens de frangos de corte podem diferir também tanto no conteúdo de proteína corporal quanto na eficiência na utilização da proteína fornecida na dieta. O método atualmente utilizado para formulação de dietas para frangos de corte baseia-se em tabelas de exigências nutricionais que somente tem levado em conta as diferentes fases de crescimento da ave, não refletindo as exigências para os diferentes genótipos com diferentes taxas de crescimento e deposição de gordura.

Exigências Nutricionais

As exigências de diferentes nutrientes são geralmente oriundas de experimentos no qual frangos de corte de uma determinada idade são gradualmente suplementados com níveis crescentes do nutriente a ser estudado, sendo o nível que produzir máximo crescimento aquele considerado nível de exigência da ave e expresso em uma concentração fixa da dieta. A utilização de uma exigência mínima fixa impossibilita a determinação do efeito sobre o crescimento, consumo ou composição de carcaça tanto para um aumento como para uma redução na concentração de um dado nutriente, como por exemplo um aminoácido, na dieta. Desta forma não é possível estimar como tais mudanças afetam os diferentes genótipos disponíveis para a indústria (Gous, 1998). Os modelos de simulação que descrevem o crescimento e o consumo de alimento necessitam de uma adequada descrição do genótipo em questão. Para um modelo de crescimento possuir sucesso ele deve possuir a habilidade de calcular as exigências nutricionais e ambientais das aves para expressar

seu máximo potencial, e prever as consequências de desvios aquém dessas condições ótimas.

As exigências protéicas dependem da composição aminoacídica da proteína e da taxa na qual ela é sintetizada pelo organismo. A soma de cada aminoácido exigido para a manutenção e para a deposição de penas e de proteína corporal constitui a exigência diária para cada aminoácido. A sexagem pela velocidade do empenamento é uma característica que foi incluída artificialmente no frango de corte moderno na qual o empenamento dos machos é muito mais lento do que o das fêmeas. O empenamento pleno de algumas linhagens autossexáveis ocorre apenas a partir do 21º dia de idade, o que os deixa muito mais propensos a danos no dorso, como arranhões (Ajang et al., 1993). Apesar do reconhecimento das diferenças entre as exigências de aminoácidos sulfurados entre linhagens de empenamento lento e rápido, a quantificação desta diferença ainda não é plenamente conhecida. A formação das penas é um processo de custo energético mais elevado do que os demais tecidos protéicos em que a treonina está muito envolvida (Lindstrom et al., 1993; Stilborn et al., 1997). Na verdade, a estimativa da diferença entre as exigências de aminoácidos fica por conta da composição do ganho de peso, o que inclui a taxa de formação das penas. De acordo com Han e Baker (1993) isto parece ocorrer somente quando a relação proteína: gordura for maior na linhagem de crescimento rápido quando comparada a de crescimento mais lento, onde neste caso seria de se esperar uma maior exigência proporcional de lisina para a primeira.

Tesseraud et al. (2000) comparando duas linhagens experimentais de frango de corte, com seleção diferenciada para peso corporal e de peito, mostraram que as diferenças observadas entre as linhagens de crescimento mais rápido comparadas as de crescimento mais lento residia sobre o rápido crescimento muscular e a maior deposição de proteína muscular no músculo *Pectoralis major*, em consequência de uma menor degradação de proteína ao invés de uma maior síntese. A lisina é o segundo aminoácido limitante em dietas comerciais de milho e farelo de soja. Han e Baker (1991) observaram que as linhagens mais pesadas necessitam maior quantidade de lisina diária do que linhagens leves. Ressalvam, entretanto, que essa maior quantidade é suprida inteiramente pelo maior consumo diário. Assim, para um conteúdo protéico de ganho de peso similar entre diferentes linhagens, as exigências de lisina expressas em relação à concentração não são necessariamente superiores para as linhagens mais pesadas. Frangos de corte mais pesados são geralmente utilizados para produção de cortes, principalmente peito. A exigência ótima de lisina para frangos de corte machos criados para a produção de peito desossado pode variar entre as linhagens comerciais disponíveis (Bilgili et al., 1992). Acar et al. (1991) ao fornecerem dietas com diferentes níveis de lisina (0,75 a 1,15% da dieta) não observaram diferenças no desempenho, na conversão alimentar e no rendimento de carcaça, contudo a produção de peito diferiu entre linhagens, e o nível de lisina para máxima produção de peito excedeu 0,85%. Han e Baker (1993) examinaram as respostas de grupos de aves com pesos distintos dentro da mesma linhagem a diferentes níveis de lisina digestível na dieta. Os autores não encontraram diferenças significativas quanto a exigência por lisina para máximo crescimento. Contudo, a exigência por lisina para máxima eficiência alimentar foi maior para o grupo de aves mais pesadas do que para as mais leves. A lisina é o aminoácido mais abundante no músculo peitoral de frangos de corte, com isso uma deficiência de lisina afeta tanto

o crescimento do frango como um todo bem como reduz o peso e a proporção do referido músculo quando comparado aos demais (Bilgili et al., 1992; Tesseraud et al., 1999).

Leclerq e Guy (1991) demonstraram diferenças nas respostas ao fornecimento de proteína e aminoácidos na dieta em linhagens distintas selecionadas para produção de carcaça magra vs carcaças com maior quantidade de gordura, o que se assemelha a diferenças observadas em linhagens para alta produção vs linhagens para rápido crescimento. Smith e Pesti, (1998) demonstraram que o peso corporal de linhagens de velocidade de crescimento diferente foi similar quando as aves receberam uma dieta contendo 16% de proteína, mas que a linhagem de crescimento rápido foi mais pesada quando os níveis de proteína da dieta aumentaram. Esta diferença no peso corporal entre as duas linhagens causada pelos diferentes níveis de proteína na dieta aumentou com a idade, sendo mais pronunciada nos níveis de 20 e 24% de proteína. Logo, o nível de proteína e o genótipo, segundo os autores, parece possuir efeito sobre o peso corporal sendo tal resposta ao nível protéico dependente do genótipo (Tabela 1).

Tabela 1 — Influência da proteína e da idade sobre o peso corporal, o consumo de alimento e a conversão alimentar de frangos de corte.

Idade, d	Ross x Ross 208				Peterson x Arbor Acres		
	% PB	Peso, kg	Consumo, kg	CA	Peso, kg	Consumo, kg	CA
32	16	1,63	2,67	1,64	1.64	2.64	1.61
	20	1.75	2.63	1.50	1.67	2.53	1.52
	24	1.80	2.54	1.41	1.71	2.48	1.45
39	16	2.11	3.82	1.81	2.08	3.73	1.79
	20	2.29	3.80	1.66	2.12	3.59	1.69
	24	2.35	3.70	1.58	2.14	3.49	1.63
46	16	2.62	5.05	1.93	2.61	4.94	1.89
	20	2.88	5.10	1.77	2.66	4.81	1.81
	24	2.85	4.96	1.74	2.66	4.67	1.76
53	16	3.13	6.41	2.05	3.12	6.27	2.01
	20	3.37	6.45	1.91	3.11	6.27	2.01
	24	3.40	6.38	1.88	3.08	5.93	1.93

No referido trabalho o percentual de rendimento de carcaça foi afetado pelo genótipo, mas não pelos níveis de proteína. Segundo os autores as exigências durante o período de 18 a 53 dias de idade para a linhagem Peterson x Arbor Acres, para máximo peso corporal, parece ser igual ou menor que 16% de proteína, enquanto que a exigência para a linhagem Ross x Ross 208 parece estar acima do referido valor. A interação significativa indicou que linhagens distintas deveriam receber programas alimentares diferenciados para maximizar a rentabilidade.

Um experimento foi conduzido por Smith et al. (1998) para quantificar diferenças genéticas em resposta a níveis de proteína bruta na dieta para machos e fêmeas de linhagens de alta produção (Ross x Ross 208) e de linhagens de rápido crescimento (Peterson x Arbor Acres). Os autores encontraram diferenças significativas entre

as linhagens. Machos e fêmeas da linhagem Ross x Ross 208 apresentaram um maior peso corporal, maior consumo de alimento, maior rendimento de peito, maior rendimento de carcaça e menor conversão alimentar do que os machos e fêmeas da linhagem Peterson Arbor Acres aos 53 dias de idade.

Tabela 2 — Influência da proteína e da idade sobre o peso corporal, o consumo de alimento e a conversão alimentar de frangos de corte machos.

Idade, d	% PB	Ross x Ross 208			Peterson x Arbor Acres		
		Peso, kg	Consumo, kg	CA	Peso, kg	Consumo, kg	CA
18	23	0,67	0,76	1,20	0,66	0,76	1,21
32	16	1,54	2,56	1,70	1,57	2,59	1,68
	18	1,67	2,62	1,56	1,65	2,66	1,62
	20	1,71	2,63	1,57	1,66	2,57	1,59
	22	1,78	2,57	1,47	1,65	2,45	1,51
	24	1,85	2,63	1,45	1,69	2,47	1,46
	26	1,76	2,46	1,43	1,66	2,42	1,48
39	16	2,03	3,72	1,85	2,06	3,75	1,84
	18	2,23	3,86	1,72	2,17	3,86	1,78
	20	2,24	3,86	1,74	2,21	3,79	1,74
	22	2,38	3,83	1,63	2,14	3,60	1,70
	24	2,43	3,92	1,63	2,20	3,37	1,70
	26	2,32	3,68	1,60	2,19	3,59	1,64
46	16	2,52	4,81	1,94	2,56	4,94	1,95
	18	2,77	5,12	1,83	2,65	5,07	1,90
	20	2,84	5,20	1,84	2,71	5,02	1,88
	22	2,87	5,11	1,78	2,61	4,74	1,82
	24	2,98	5,24	1,77	2,66	4,85	1,81
	26	2,89	4,95	1,72	2,68	4,77	1,77
53	16	3,02	6,64	2,17	2,99	6,64	2,23
	18	3,35	7,37	2,14	3,13	7,14	2,21
	20	3,31	7,39	2,18	3,17	7,07	2,19
	22	3,41	6,93	2,04	3,02	6,83	2,19
	24	3,56	7,56	2,08	3,05	6,48	2,06
	26	3,26	6,56	1,97	3,11	6,48	2,06

Os resultados obtidos pelos autores (Tabelas 2 a 5) mostram que o nível de proteína, o genótipo e o sexo possuem efeito sobre o peso corporal e que a resposta ao nível de proteína é dependente do genótipo. O aumento no peso corporal de um genótipo foi de fato resultante de um aumento no consumo, mas o consumo não foi proporcional ao ganho de peso e resultou em uma menor conversão alimentar. A resposta para máximo ganho de peso para a linhagem Ross x Ross 208 (machos) ficou em torno de 24% de proteína, ao passo que para a linhagem Peterson x Arbor Acres esta se situou entre 18 e 20% de proteína na dieta. Já para o máximo rendimento de carcaça e peito para a linhagem Ross x Ross 208 o nível de proteína

Tabela 3 — Análise de variância dos efeitos da idade, percentual de proteína, sexo e linhagem sobre o desempenho.

Fonte	Peso corporal	Consumo
	Probabilidade	
Linhagem	0.0001	0.0013
Sexo	0.0001	0.0001
Linhagem x sexo	0.0701	0.4386
Idade	0.0001	0.0001
Linhagem x idade	0.0001	0.1876
Sexo x idade	0.0001	0.0001
Linhagem x sexo x idade	0.4359	0.8899
Proteína	0.0001	0.0005
Linhagem x proteína	0.0001	0.0015
Sexo x proteína	0.0002	0.1977
Linhagem x sexo x proteína	0.6556	0.1304
Idade x proteína	0.0239	0.4083
Linhagem x idade x proteína	0.2097	0.6737
Sexo x idade x proteína	0.6037	0.9548
Linhagem x sexo x idade x proteína	0.9467	0.9830

que produziu melhor resposta foi de 20%, para a Peterson x Arbor Acres este valor ficou entre 18 e 20%.

Experimentos foram conduzidos por Alleman et al. (2000) para determinar respostas de linhagens com distinto potencial de síntese de gordura a dietas com diferentes níveis de proteína bruta, baixas em aminoácidos não essenciais (alanina, ácido aspártico, ácido glutâmico, serina e glicina) mas adequadas em aminoácidos essenciais. Os autores concluíram que, é possível reduzir os níveis de proteína bruta da dieta abaixo daquelas recomendadas comercialmente, se as exigências por aminoácidos essenciais forem supridas por aminoácidos sintéticos. Contudo, linhagens magras parecem ser mais sensíveis a níveis mais baixos de proteína bruta, e uma vez que, no referido experimento, as exigências por aminoácidos essenciais foram supridas, pode haver uma maior exigência por aminoácidos não essenciais para tais linhagens.

As diferentes respostas encontradas quanto a utilização da proteína e dos aminoácidos por aves com taxas de crescimento distintos parece residir sobre o metabolismo de tais nutrientes. Diferenças na taxa de síntese de lipídios entre frangos de corte de linhagens magras e gordas pode recair sobre o maior catabolismo de aminoácidos em aves de linhagens mais gordas. Um aumento na demanda por acetil-CoA para a lipogênese pode causar um aumento no catabolismo de todos os precursores, incluindo os aminoácidos. A remoção de aminoácidos por esta maneira causaria um decréscimo na disponibilidade de aminoácidos para a síntese de proteína. Consequentemente, levando a uma menor deposição protéica e a uma maior incorporação de esqueletos de carbono para os depósitos de lipídio corporal (Saunderson, 1988).

Tabela 4 — Influência da proteína e da idade sobre o dados de carcaça de frangos de corte machos por linhagem.

		Ross x Ross 208			Peterson x Arbor Acres		
Idade (d)	Proteína	Gordura abdominal	Rend. de peito	Rend. de carcaça	Gordura abdominal	Rend. peito	Rend. de carcaça
%							
18	23	1.12	23.67	62.96	1.11	22.80	62.38
32	16	2.08	30.33	67.77	2.22	25.11	66.27
	18	2.04	30.88	69.12	1.73	27.33	66.73
	20	1.51	31.53	68.03	1.59	27.71	65.39
	22	1.16	30.25	66.72	1.49	27.26	65.39
	24	1.19	32.45	68.25	1.27	28.94	64.54
	26	1.19	29.27	67.34	1.12	28.68	65.31
39	16	2.01	29.51	68.54	2.36	27.34	67.54
	18	2.07	32.35	69.32	.81	27.58	68.19
	20	1.65	32.62	68.85	1.96	29.11	68.18
	22	1.42	32.53	69.65	1.34	29.97	67.98
	24	1.14	31.19	68.77	1.58	27.70	67.49
	26	1.51	31.41	69.74	1.46	28.29	69.62
46	16	2.55	28.70	73.42	2.74	28.45	73.09
	18	1.93	29.48	70.66	2.33	27.98	70.52
	20	1.81	31.25	72.60	2.01	28.43	69.91
	22	1.81	31.36	72.99	1.83	27.36	70.33
	24	1.71	31.14	71.29	1.82	29.22	71.09
	26	1.36	31.06	72.91	1.45	28.00	71.49
53	16	2.92	31.59	74.13	2.52	28.82	71.16
	18	2.18	30.60	74.09	2.45	29.18	73.03
	20	1.87	32.49	74.52	2.41	30.26	72.49
	22	1.96	31.90	73.58	2.19	28.90	72.15
	24	1.80	31.92	73.92	1.56	28.83	70.69
	26	1.42	32.03	73.14	1.91	29.48	71.56

Tabela 5 — Análise de variância dos efeitos da idade, percentual de proteína, sexo e linhagem sobre o desempenho de machos.

Fonte	Peso de carcaça	Gordura abdominal	Peso de peito	Rend. de carcaça	Gordura abdominal	Rend. de peito
				P > !F!		
Linhagem	0.0001	0.8778	0.0001	0.0001	0.1375	0.0001
Idade	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.3955	0.0001
Linhagem x idade	0.0550	0.9551	0.0070	0.0537	0.7135	0.0283
Proteína	0.0001	0.0001	0.0001	0.0319	0.0012	0.0007
Linhagem x proteína	0.0228	0.4020	0.0209	0.2224	0.4606	0.3523
Idade x proteína	0.8478	0.3076	0.9553	0.0043	0.3149	0.4386
Linhagem x idade x proteína	0.0369	0.0178	0.0820	0.6825	0.7155	0.1539

A medida que a taxa de potencial de crescimento de frangos de corte aumenta devido a seleção genética, as exigências por aminoácidos e energia também aumentam, mas estas não aumentam na mesma proporção. A exigência aminoacítica aumenta proporcionalmente mais rápido do que a exigência por energia, logo uma maior relação aminoácido: energia é necessária para linhagens de crescimento rápido (Gous, 1998).

A consequência mais importante no fornecimento de dietas marginalmente deficientes em algum aminoácido é o da ave consumir um excesso de energia na tentativa de obter um consumo compensatório, e esta energia ser depositada como lipídio. Outro fator que deve ser levado em conta é que a medida que a taxa de crescimento relativa tem sido aumentada a temperatura de conforto ambiental pode estar reduzindo. A produção de calor pela ave aumenta a medida que aumenta o consumo, logo dietas com uma baixa relação nutriente: energia pode levar a um decréscimo na temperatura de conforto. Assim, em um ambiente de clima quente, o efeito de uma deficiência marginal de um nutriente seria mais severa do que em um ambiente mais ameno (Gous, 1998).

Frangos de corte geneticamente selecionados para possuir baixo conteúdo de gordura corporal exibem um menor consumo e possuem uma maior eficiência de ganho de peso. Segundo Moran (1994) linhagens de frangos de corte mais magras podem não estar aptas a lidar com uma deficiência de metionina. Isto porque linhagens mais magras parecem possuir uma maior necessidade por aminoácidos sulfurados devido a sua característica de consumo alimentar e pela própria demanda aminoacídica para suportar a síntese de proteína corporal adicional. Acar et al. (1991) observaram que a gordura abdominal respondeu ao aumento de lisina de maneira diferenciada entre linhagens. A percentagem de gordura abdominal das carcaças da linhagem Peterson x Arbor Acres diminuiu ao mínimo quando a concentração de lisina foi de 0,85%, então aumentou até o nível de concentração de 1,15%. Por outro lado, a gordura abdominal da linhagem Ross x Ross aumentou ao máximo quando a concentração de lisina foi de 0,85%, decrescendo após.

Perdas significativas na indústria avícola são resultantes de danos na pele do frango de corte durante o processamento. A resistência da pele aumenta com a idade,

assim problemas relacionados à integridade da pele podem tornar-se freqüentes. A força de tensão da pele é determinada por sua matriz extracelular, em que o colágeno é o principal componente protéico. Em frangos de corte, rompimentos de pele parecem estar associados com um baixo conteúdo de colágeno ou a um elevado conteúdo de gordura na pele (Cahaner et al., 1993). Estes autores realizaram um estudo com o objetivo de estimar a herdabilidade do conteúdo de proteína, colágeno e gordura na pele de peito de frangos de corte e avaliar a associação de tais traços com rompimento de pele de três diferentes linhagens que variavam em deposição de gordura corporal. Os autores concluíram que a incidência de rompimento de pele possui correlação positiva com a concentração de colágeno e negativa com a de gordura na pele. Salientando para o fato da seleção para linhagens mais magras ou com maior capacidade de deposição de proteína ser de relevada importância. A relação entre o rompimento de pele e colágeno foi investigado por Granot et al., (1991a). O objetivo do experimento foi relacionar o rompimento de pele com o conteúdo de colágeno em fêmeas de duas linhagens, as quais diferiam na susceptibilidade para o rompimento de pele. Fêmeas de Cobb e Shafrir foram utilizadas de 1 a 49 dias de idade. Com tratamentos consistindo em uma dieta basal formulada para atender às exigências do NRC (1984) e de uma dieta de maior nível protéico (3% acima da dieta basal). Os autores observaram que o rompimento de pele e o percentual de colágeno foram significativamente afetados pela linhagem e pela dieta, com interação significativa entre linhagem e dieta. O efeito significativo da dieta e a interação significativa linhagem x dieta resultou provavelmente da redução significativa do rompimento de pele da linhagem Cobb alimentada com dietas com alta proteína (Tabela 6).

Tabela 6 — Efeito da dieta e da linhagem sobre variáveis da pele de peito de frangos de corte

Dieta	Rompimento (%)		Proteína (%) (% base úmida)		Colágeno (%)		Colágeno:proteína (%)	
	Shafrir	Cobb	Shafrir	Cobb	Shafrir	Cobb	Shafrir	Cobb
Controle	15.3	33.3	12.8 ^b	15.3 ^b	3.4 ^b	2.9 ^b	26.4 ^a	19.4 ^b
Alta-proteína	16.8	19.9	18.3 ^{ab}	20.9 ^a	3.6 ^b	5.4 ^a	23.6 ^a	25.8 ^a
Probabilidade								
Dieta	0.05		0.05		0.05		NS	
Linhagem	0.01		0.05		NS		0.01	
Dieta x linhagem	0.05		NS		0.05		0.01	

A interação entre a proteína da dieta e linhagem, afetando tanto o rompimento de pele quanto o colágeno cutâneo sugerem a possibilidade que as diferenças observadas entre as linhagens possam ser resultantes de diferenças no metabolismo de aminoácidos entre as mesmas e alertam para a necessidade da definição de níveis aminoacídicos ideais diferenciados por linhagem (Granot al, 1991b).

Uma vez que diferentes genótipos podem responder de maneira diferenciada a mudanças nos níveis de alguns nutrientes, atualmente mais evidenciado por mudanças nos níveis de proteína e de aminoácidos na dieta, é necessário encontrar um ponto de eficiência máxima para cada linhagem que está sendo criada. Esta pode

ser a maior resposta na produção de carcaça ou de peito dependendo da demanda e do preço de mercado.

Conclusões

As exigências nutricionais de frangos de corte, diferentemente dos suínos modernos, tem sido consideradas independentemente da formação genética das linhagens disponíveis comercialmente. Até o presente momento, as diferenças entre linhagens comerciais de suínos são mais proeminentes do que as de frangos. Entretanto, há diferenças comprovadas entre elas, que não tem sido consideradas na forma de ajuste nutricional. O entendimento da formação destas diferenças baseadas principalmente nas taxas de crescimento corporal, taxas de crescimento dos cortes comerciais, proporção de gordura corporal, velocidade de empenamento, entre outras, permitirá um ganho extra em eficiência de produção principalmente para mercados seletivos, como o de cortes comerciais.

Bibliografia

- ACAR, N.; MORAN Jr, E. T. e BILGILI, S. F. 1991. Live performance and carcass yield of male broilers from two commercial strain crosses receiving rations containing lysine below and above the established requirement between six and eight weeks of age. *Poultry Science* 70:2315–2321.
- AJANG, O. A.; PRIJONO, S., SMITH, W. K. 1993. Effect of dietary-protein content on growth and body-composition of fast and slow feathering broiler-chickens. *British Poultry Science*, 34:73–91.
- ALLEMAN, F.; MICHEL, J.; CHAGNEAU, A. M.; LECLERCQ, B. 2000. The effects of dietary protein independent of essential amino acids on growth and body composition in genetically lean and fat chickens. *British Poultry Science*, 41: 214–218.
- BILGILI, S. F.; MORAN Jr, E. T.; ACAR, N. 1992 Strain-cross response to heavy male broilers to dietary lysine in the finisher feed: Live performance and further-processing yields. *Poultry Science* 71:850–858.
- CAHANER, A.; GUTMAN, M.; PINES, M. 1993. Genetic and phenotypic association between skin tearing and skin collagen, protein and fat in broilers. *Poultry Science*, 72:1832–1840.
- GOUS, R. M. 1998. Making progress in the nutrition of broilers. *Poultry Science*, 77:111–117.
- GRANOT, I.; BARTOV, I.; PLAVINIK, I.; WAX, E. 1991a. Increased skin tearing in broilers and reduced collagen synthesis in skin in vivo and in vitro in the response to the coccidiostat halofuginone. *Poultry Science*, 70:1559–1563.
- GRANOT, I.; PINES, M.; PLAVINIK, I.; WAX, E.; HURWITZ, S.; BARTOV, I. 1991b. Skin tearing in broilers in relation to skin collagen: effect of sex, strain and diet. *Poultry Science*, 70:1928–1935.
- HAN, Y.; BAKER, D. H. 1991. Lysine requirements of Fast- and Slow-Growing broiler chickens. *Poultry Science*, 70:2108–2114.

- HAN, Y.; BAKER, D. H. 1993. Effects of sex, heat stress, body weight, and genetic strain on the dietary lysine requirement of broiler chicks. *Poultry Science* 72:701–708.
- LECLERCQ, B. 1988. Genetic selection of meat-type chickens for high or low abdominal fat content. In: *Leanness in Domestic Birds*. Chapter 2. Edited by Leclercq, B. and Whitehead, C.C. Butterworth & Co, London, 1988. 405 p.
- LINDSTROM, A., VISSER, G. H., DAAN, S. 1993. The energetic cost of feather synthesis is proportion to basal metabolic-rate. *Physiological Zoology*, 66:490–510.
- MORAN Jr., E. T. 1994. Responses of broiler strains differing in body fat to inadequate methionine: live performance and processing yields. *Poultry Science*, 73:1116–1126.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1984. *Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Poultry*. 8^a. Ed. Washington, DC.
- SAUNDERSON, C. L. 1988. Amino acid and protein metabolism in genetically lean and fat lines of chickens. In: *Leanness in Domestic Birds*. Chapter 2. Edited by Leclercq, B. and Whitehead, C. C. Butterworths & Co, London, 1988. 405 p.
- SMITH, E. R., PESTI, G. M. 1998. Influence of broiler strain cross and dietary protein on the performance of broilers. *Poultry Science*, 77:276–281.
- SMITH, E. R.; PESTI, G. M.; BAKALLI, R. I.; WARE, G. O.; MENTEN, J. F. M. 1998. Further studies on the influence of genotype and dietary protein on the performance of broilers. *Poultry Science* 77:1678–1687.
- STILLBORN, H. L.; MORAN, Jr., E. T.; GOUS, R. M.; HARRISON, M. D. 1997. Effect of age on feather amino acid content in two broiler strain crosses and sexes. *Journal of Applied Poultry Research*, 6:205–209.
- TESSERAUD, S.; CHAGNEAU, A. M.; GRIZARD, J. 2000. Muscle protein turnover during early development in chickens divergently selected for growth rate. *Poultry Science* 79:1465–1471.
- TESSERAUD, S.; LE BIHAN-DUVAL, E.; PERESSON, R.; MICHEL, J.; CHAGNEAU, A. M. 1999. Response of chick lines selected on carcass quality to dietary lysine supply: Live performance and muscle development. *Poultry Science* 78:80–84.

IMPROVEMENT OF INCUBATION EGG QUALITY BY NUTRITION

R. A. Renema

F. E. Robinson

Department of Agricultural, Food, and Nutritional Science.,
University of Alberta.
Edmonton, AB., Canada, T5G2P5.

Introduction

Broiler breeder hen management has become a system of ovary management to maximize and maintain adequate egg production. The modern breeder female is a genetic compromise between two very different selection criteria. She has the genetics for rapid and efficient growth, and yet requires a good rate of egg production to supply the next generation of broiler chicks. However, reproductive problems introduced through decades of genetic selection for desirable meat production characteristics in its progeny have severely impaired the reproductive ability of the broiler parents (Siegel and Dunnington, 1985). The negative relationship between body weight (BW) and egg production in broiler breeders has been recognized for over 30 yr in the chicken (Jaap and Muir, 1968).

Modern broiler breeders can grow at three times the rate of a 1957 random bred strain due primarily to increased genetic potential (Havenstein et al., 1994a, b; Qurishi and Havenstein, 1994). The genetic potential of the broiler chicken offspring of these birds has increased at an estimated rate of 3 percent per year (McCarthy and Siegel, 1983), allowing them the potential to reach market weight approximately one day less every year (Gyles, 1989). The routine feed restriction of broiler breeders from an early age is considered essential for the production of eggs and chicks (Katanbaf et al., 1989b). The need for refinements in feeding programs is becoming increasingly important with the development of high breast-yield strains, and with continued increases in the growth potential at the expense of reproductive potential. Selection for broiler breeder egg production is not as heritable or profitable as selection for growth traits, however. As a result, Whitehead (2000) indicates that geneticists continually compound the problem by breeding a bird that, if allowed to exist in its freely expressed adult state, is completely unfit for life.

Understanding the ovarian function of the chicken and its interaction with nutritional status, age, and strain is likely the most important issue affecting poultry breeding companies today. The process involves the conversion of genetic, environmental, and nutritional cues into a cascade of signals from the neuroendocrine system. These signals must be integrated and responded to by the organs and tissues primarily involved in reproduction, which will in turn produce more signals for both local and distant activities. The resulting eggs produced are the net result of the bird's attempt to coordinate the demands its body and environment have placed on it.

The ability of an embryo to survive the incubation process relies on a balance between hatchery management and breeder management. Specific feed ingredients,

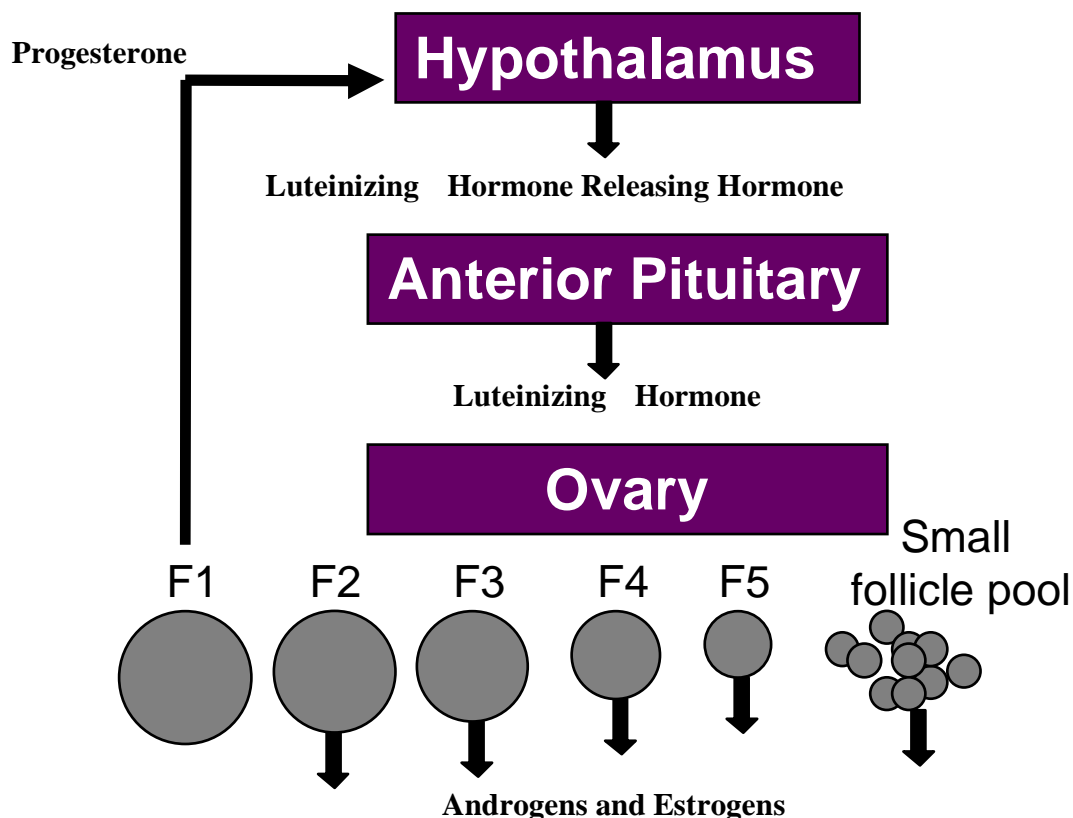
hen age, and flock management decisions can directly affect the egg environment. Whereas egg composition can be highly maintained under various feeding conditions, the maintenance of reproduction can also be the first thing to suffer when the hen is faced with any substantial stress. Furthermore, minor dietary ingredients are not always preferentially deposited in the yolk or egg. This opens the door to creating an “enriched” environment within the egg, allowing the embryo a greater chance of survival. An understanding of how some feed ingredients directly impact the egg environment can contribute to the improved success of a breeder program under many conditions.

The Reproductive System of Broiler Breeders

The reproductive system of the laying hen is comprised of many organs. The list includes the hypothalamus, the anterior pituitary, the ovary, the oviduct, the liver and the skeletal system. Maturation of the hypothalamus at sexual maturity is what initiates the pubertal process. When the hypothalamus is fully “mature”, GnRH is released. This small protein hormone is carried a short distance to the anterior pituitary, where it stimulates the release of luteinizing hormone (LH) and follicle stimulating hormone (FSH). This first release of LH occurs very soon after the first exposure to long days. The LH release stimulates synthesis of estrogen and androgen hormones from the small follicles of the ovary.

Small follicle steroidogenesis, particularly estrogen production, is responsible for transforming a pullet into a hen. As plasma levels of estrogens increase, externally visible features include reddening and enlargement of the comb and wattles, a prenuptial feather molt (feather drop) and a widening of the pubic bones to permit egg passage. Internally, estrogen stimulates liver production of egg yolk lipids with a significant change in the color and size of the liver. Finally, the oviduct enlarges and becomes a secretory organ for deposition of albumen.

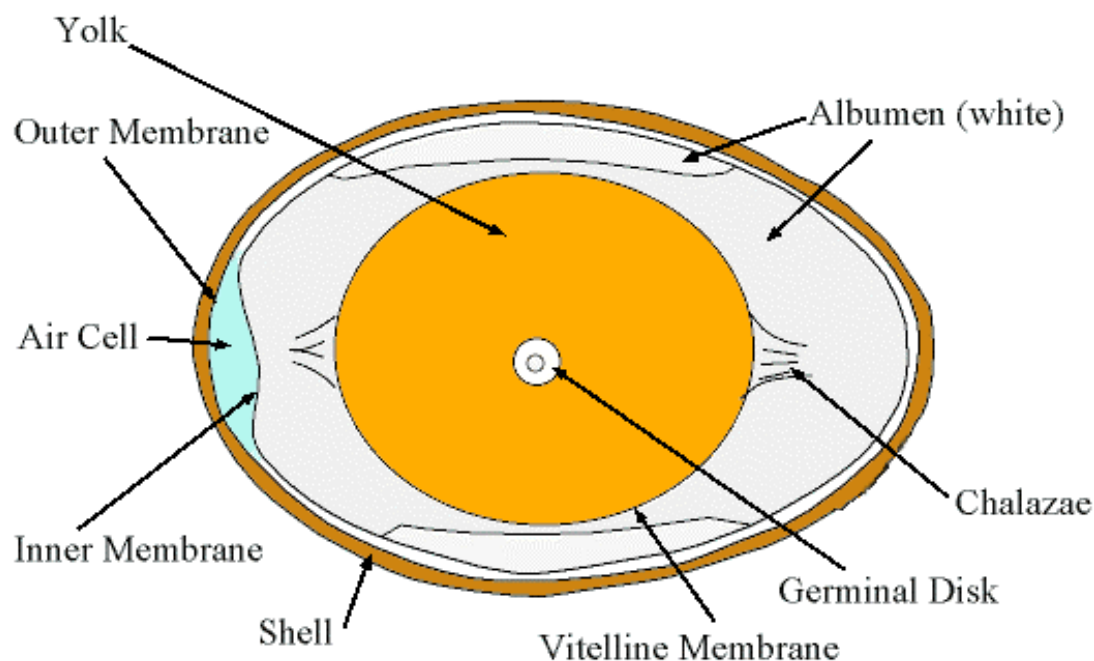
A breeder hen that will lay at high rates is one that has a finely tuned ovulatory cycle. Such birds are thought to have ideal carcass composition at sexual maturity and to have an optimal number of large ovarian follicles at sexual maturity. Having too few large follicle scan result in gaps in laying sequences and hence shorter than normal sequences. This is a problem seen in hens undergoing follicular atresia (follicle dissolution). Having too many large ovarian follicles is a problem associated with obesity, or with pullets being exposed to a large positive energy balance after photostimulation.



The Egg and Egg Formation

Ovulation occurs when the most mature ovarian follicle ruptures along the stigma, a linear avascular area on the follicle, and the ovum is released from the ovary. The infundibulum, which is the uppermost region of the oviduct, uses its thin, lightly muscularized tissue to engulf the ovum and funnel it into the oviduct. The ovum takes 3 to 4 hr to pass through the magnum, where egg albumen is released due in part to mechanical pressure from the moving ovum (Moran, 1987). Shell membranes are added to the forming egg during the 1.5 hr it needs to pass through the isthmus. Final 'plumping' occurs when fluid is added to the albumen in the shell gland, and a calcium carbonate and glycoprotein matrix is secreted to form the shell. Chicken eggs require roughly 20 hr in the shell gland, followed by a period of a few seconds to pass through the vagina to complete the oviposition process (Burke, 1984).

The egg is approximately 58.5% albumen, 31% yolk, and 10.5% shell. It contains a large amount of nutrients for supporting subsequent growth of the embryo. The albumen contains primarily protein (and 88% water), while the yolk contains both lipids and proteins (2:1 ratio). The high fat content allows more energy to be packed into a smaller package without the concomitant association with water, as happens with proteins (Speake and Thompson, 1999).



Effects of Feed Intake

The Ovary and Hormonal Control

The hormone messages being relayed between the ovary and the hypothalamic and pituitary control centers are altered by feed intake. Besides affecting follicle formation, and reproductive control, feeding level can alter the viability of the embryo through changes to the egg and to the early maturation process.

Excess nutrients are diverted into liver lipids, excess ovarian follicle development, and as abdominal fatpad (Etches, 1996). It can be a vicious cycle, with obesity continuing to worsen as the rate of egg production remains low and / or goes into early decline due to excess feed intake. The ovaries of growth-selected strains are particularly sensitive to overfeeding during the sexual maturation process. Overfeeding at this time will result in excess production of large yellow follicles (LYF). When too many LYF form, the ovary can no longer maintain a single hierarchy of follicles, and they begin to pair up, forming multiple hierarchies of LYF (Hocking et al., 1987; Katanbaf et al., 1989; Yu et al., 1992b; Renema et al., 1999b). This can lead to days on which more than one ovulation occurs. As it typically takes at least 25 hr to form an egg in a broiler breeder hen, this will often result in the production of unsettable eggs due to poor shell formation. Renema et al., (1999c) reported a 106% peak rate of egg production in overfed hens of a particularly feed sensitive strain, indicating that more than one egg was being laid per day (although not all were settable eggs). The primary influence on LYF number is body weight (Hocking and Whitehead, 1990). But when you compare birds of the same size, the one consuming more feed will have more LYF (Hocking, 1993).

It would seem that these processes are quite disconnected from the embryo, as once a settable egg is produced, it should have every bit as good of a chance at hatching as one from a bird on a lower plane of nutrition. However, altered

management of egg production in the hen affects the ability of the embryo to survive. First of all, excess feed intake during puberty interferes with the normal development of mechanisms controlling ovarian LYF numbers (Renema et al., 1999b). On the ovary itself, fewer of the small, undeveloped follicles (< 1 mm diameter) are able to respond to an LH signal by producing estrogen (Lupicki, 1994). Of the follicles that do respond, the amount of response is also much lower, although things become more similar in older birds. In cattle and pigs, overfeeding reduces embryo viability by creating weak embryos. Normal changes to LH and FSH concentrations are altered, and the resulting ova are much less likely to develop following fertilization.

Hormonal control of reproduction may be coming unhinged at the level of the liver. This is where the steroids like estrogen are cleared from the body. One of the roles of estrogen is to feed-back a message to the hypothalamus that the ovary is working, and that it can tell the pituitary to reduce FSH and LH production. However, a bulkier feed or greater feed intake increases the intestinal rate of passage which, in some species, reduces the ability of the animal to reabsorb steroids cleared by the liver from the gut (this process is called steroid recycling) (Adams et al., 1994). Many poultry diet ingredients are also excellent estrogen binders, which would tie up steroids in the gut, causing them to be excreted rather than recycled. On top of all of this, less of the special protein that carries the estrogen in the bloodstream is produced with a greater feed intake (Botwood et al., 1995), and liver blood flow increases to help absorb the nutrients from the gut, inadvertently increasing estrogen clearance from the blood (Wiltbank et al., 2000).

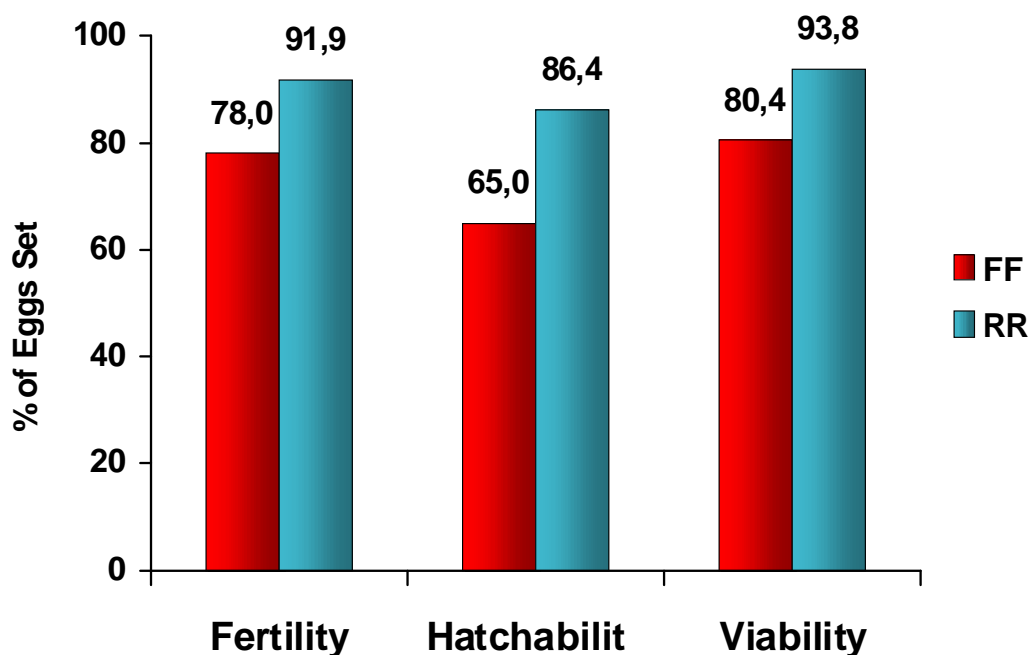
There is a real opportunity here for feed producers. Identification of a role of feeding level in estrogen clearance can have an immediate effect on feed form. It would allow the opportunity to improve the bird's control of reproduction through simple changes to feed volume, form or ingredients. Both rate of passage and estrogen binding by feed may be manipulated up or down by feed bulk and by specific ingredients. If excess ovarian follicle production and embryo viability can be controlled or improved by changing what birds are fed, or how they are fed, unsettable egg production will be reduced, and stronger embryos will be produced.

Fertility and Chick Production

Chickens lay their eggs in sequences, which are periods of consecutive oviposition days separated by one or more pause days. Overfed hens typically have shorter laying sequences (Robinson et al., 1991a), which will result in more "first of sequence" eggs. These eggs, containing yolks that were held back from ovulation over the pause day(s), are more likely to undergo embryonic death (Robinson et al., 1991b; Fassenko et al., 1992). Short sequence length may also be due to erratic oviposition (laying eggs at odd times of the day), which increases the likelihood of inadequate shell formation, and can further reduce hatchability.

Body weight in broiler breeder hens has been reported to be negatively correlated with duration of fertility and fertile egg production (Bilgili and Renden, 1985). Ultimately, reduced chick production in overfed broiler breeders is the culmination of poor egg production combined with reduced fertility, hatch of fertile, and embryonic viability (Yu et al., 1992b). The female oviduct environment can be hostile to sperm, which are normally stored in sperm storage tubules within the oviduct wall. Duration of fertility

(measured by monitoring fertility in consecutive eggs) can be reduced under conditions of overfeeding (Katanbaf et al., 1989b; Goerzen et al., 1996). It is known that fewer sperm survive in some bird strains and when excess feed is used (Renema et al., 2001), but it is not clear how the surviving sperm are affected, and if they generate a weaker embryo. The use of as little as 2 wk of ad libitum feeding between 23 and 31 wk of age has been found to reduce fertility and hatchability through an entire production trial (Ingram and Wilson, 1987). Bird strain may be a key factor here, however, as some strains appear almost immune to the effects of overfeeding.



Factors Affecting Hatching Egg Quality

There are many factors that can affect the potential of the embryo to survive incubation and generate a quality chick. Some of these factors are out of our control, such as hen age, and others can be manipulated through management decisions, such as hatchery environment. Hatchery management is a topic on its own and will not be thoroughly explored in this article. The incidence of some conditions thought to be feed related, such as clubbed down (riboflavin deficiency) can definitely be confounded by hatchery management. In a recent incubation of eggs from a flock with a high incidence of clubbed down in our research hatchery, we found the incidence to be 33% of that found in the commercial hatchery.

Hen Age and Egg Size

It is well established that broiler chicks from small eggs will have a lower market weight than their counterparts from larger eggs. Differences have been predicted of about 12g in final body weight for every gram of difference in initial egg weight. Whereas research is being performed on methods like amino acid injection into the egg to provide extra

protein and a greater initial chick weight (Ohta et al., 2001), manipulating dietary protein is still one of the best ways to alter egg weight. As dietary methionine is increased, for example, there is an almost linear increase in egg weight (Leeson and Summers, 2001). The size of the pullet at photostimulation determines probable future egg size, with bigger eggs coming from bigger birds.

Yolk size increases with age at a faster rate than albumen. However, at a given age, sudden increases in egg size due to nutrient allocation are primarily expressed as an increase in albumen content.

Eggs from young hens are smaller and require different incubation conditions for the best rate of survival. After comparing a range of incubation humidities, Burnham et al. (2001) concluded that 53% R. H. provided the best growing conditions for the embryo. The rate of water loss during incubation affects embryogenesis, as well as the hatchability of the egg. Both of these traits are depressed when 43% R.H. is used in the incubator rather than 53 or 63% (Peebles et al., 2001).

Shell quality varies by genetic strain, rate of lay, flock age, and egg size. High producing hens sometimes have both smaller eggs and poorer shell quality because they are not able to keep up with the magnitude of the demands of their rate of egg production. Big eggs in older hens will tend to have a lower percentage of shell than in younger birds, resulting in poorer shell quality due to a thinner shell.

Dietary Ingredients and Egg Quality

It can be difficult to formulate diets to optimize egg production, fertility, and hatchability as little is known about the nutritional requirements of the embryo (Leeson and Summers, 1991). Dietary vitamin levels are increased in the diet with the hope they will also be increased in the egg. Yet, there can be adverse reactions with type of approach, as some vitamins have antagonistic relationships with others. Furthermore, there can be stability issues for long-term storage, as well as for feed processing procedures. With current genetic stocks, if the chick hatches in a weakened state due to a vitamin or mineral deficiency, it is more likely to succumb to disease now than with previous stocks. Growth-selected stocks have low immuno-responsiveness (Siegel et al., 1984) due to either inadvertent or intentional negative selection pressure combined with growth efficiency selection. The developing embryo is especially sensitive to vitamin deficiency, which will result in death, malformation or some other atypical response (Leeson and Summers, 2001).

Most vitamin or mineral deficiencies are due to either the omission of the premixes are omitted from the diet, or to deficiencies induced by another nutrient or toxin. Many deficiencies are not due to a single vitamin or mineral, but rather a multiple deficiency, which becomes that much more difficult to diagnose (Leeson and Summers, 1991). Specific effects of some vitamin deficiencies that cause problems with hatchability are presented in the following table. Based on studies with vitamin deficient diets, some vitamins are more essential than others. Although hatchability can be numerically reduced by deficiencies of most of the vitamins in the table, there is a strain-specific variability in the severity of the response (Leeson and Summers, 1991).

The uptake of iron, zinc, and sodium in the small intestine is regulated by an active transport system. The non-metal minerals like sulfur and selenium are absorbed

Table 1 — Embryo vitamin deficiency signs (adapted from Leeson and Summers, 2001)

Vitamin	Timing of Mortality	Deficiency Sign
Vitamin A	0 to 2 d	Failure to develop circulatory system.
Vitamin D ₃		Stunted chicks and soft bones. Shell defects alter shell porosity.
Vitamin E	1 to 3 d	Encephalomalacia and exudative diathesis is common
Riboflavin	9 to 14 d or 17 to 21 d	Edema and/or clubbed down of embryos. Extreme situation includes a curling of the toes.
Pantothenic Acid		Subcutaneous hemorrhages in unhatched chicks.
Biotin	0 to 7 d and 19 to 21 d	Reduced hatch without reduced egg production. May see skeletal deformities and crooked beaks.
Vitamin B ₁₂	8 to 14 d	Mortality, with possible edema, curled toes and shortening of the beak.
Thiamin	10 to 14 d and 19 to 21 d	Many dead chicks on trays, but not with deformities. Injection of chicks with Thiamin leads to quick recovery. Can be due to specific disinfectants, anticoccidials, and poor quality fish meal. Higher embryonic thiamin requirements when some Fusarium molds present.
Vitamin K		Hemorrhage and bleeding in chicks as they hatch. Excess bleeding also seen in day-old beak trimming etc.

very efficiently by unregulated mechanisms affected by the source and presence of other minerals in the gut (Leeson and Summers, 2001). This opens the door for compounds such as zinc-methionine, which provides supplemental zinc to the bird through alternate pathways, and to provide enhanced uptake when the zinc types are mixed.

Leeson and Summers (1991) describe 4 categories to describe vitamin adequacy:

1. Deficiency – inadequate supply and clinical signs develop over time (as little as 5 to 7 d for poorly stored B vitamins up to several months for fat soluble vitamins in older birds).
2. Minimal Supply – Prevents clinical signs with dietary levels comparable to those established by NRC. Provide adequate growth under ideal conditions.
3. Optimal Supply – Meets all needs for optimum growth and performance taking into account stability losses.
4. Specialized Supply – Meets all conventional metabolic needs under certain special (stress) situations (such as Vitamin E for enhanced immune status).

Although vitamin toxicity is possible (Vitamin A, D3, and choline in particular), this is not a common problem. The challenge for nutritionists today is to be able to identify needs and potential benefits for specialized supply of vitamins, and to understand and predict the benefits of their application. Using novel feed ingredients to improve poultry performance, including embryo hatching success, can be beneficial if used properly. For example, ensuring a good supply of antioxidant dietary ingredients, such as Vitamin E, Vitamin C, and even organic Selenium, appear to have protective effects on the embryo, enhancing its survival.

During embryo development, oxidative metabolism increases substantially over the incubation period and especially in the last few days before hatch (Freeman and Vince, 1974). This normal respiration related to embryo growth results in the production of free radicals, which can cause tissue damage through lipid peroxidation, with polyunsaturated fatty acids being especially vulnerable (Surai, 1999). The chick has developed effective antioxidant pathways to prevent damage. The primary defense mechanism is a group of three enzymes which convert free radicals produced by cellular respiration to harmless products like water. A second level of defense are the natural antioxidants, Vitamin E, carotenoids, ascorbic acid, and glutathione protect the developing chick (Surai, 1999). During the last week of incubation, fat soluble antioxidants are moved into the liver and yolk sac membrane. The major fat soluble antioxidant, Vitamin E, for example, moves from the yolk to the embryo tissue at this time (Gaal et al., 1995). Ascorbic acid (Vitamin C) is the major water soluble antioxidant, and is produced in the yolk sac membrane before transport to tissues like the brain (Surai, 1999). This helps protect membrane lipids during the large metabolic effort of hatching. The third level of antioxidant defense is the generation of enzymes which rebuild damaged membranes (Surai and Sparks, 2001).

Care must be taken not to provide an excessive amount of Vitamin A in the diet, as it can interfere with the antioxidant status of the progeny. Whereas embryo and day-old chick liver Vitamin A concentrations increase with dietary supplementation, Vitamin E and carotenoid contents drop significantly (Surai et al., 1998).

Vitamin E (α -tocopherol)

Vitamin E has received attention as a dietary supplement for its part in reducing the effects of stressors and enhancing immunocompetence. When included in the diet at a rate of 300 compared to 10 IU/kg, rate of egg production later in lay is increased in broiler breeders (Siegel et al., 2001). Under conditions of heat stress, when egg production can go into decline, Vitamin E can maintain or improve many aspects of egg production efficiency. Blood plasma concentrations of egg yolk precursors, vitellogenin, and the very low density lipoprotein fat carrier are improved with Vitamin E under hot environmental conditions. Their production by the liver may have been enhanced by protecting the liver from lipid peroxidation and cell membrane damage (Bollengier-Lee et al., 1999).

Vitamin E deposition in the yolk membrane is enhanced by dietary supplementation. This improves the vitelline membrane strength (Kirunda et al., 2001). This has implications for the maintenance of hatchability potential following egg storage, as the yolk membranes will weaken in time. Furthermore, excess feeding will typically result in eggs with more fragile yolk membranes, which may be partially alleviated by Vitamin E. For males, the fertilizing ability of spermatozoa are increased by Vitamin E in the diet through improved antioxidant capacity of the semen (protects the cell membranes from lipid peroxidation) (Surai et al., 1997). The bottom line is likely more fertile eggs - even with hot environmental conditions - and a better chance of the embryo to survive incubation. Inclusion of Vitamin E in hen diets at a rate of 250 mg/kg brought about most results reported.

Vitamin C (Ascorbic acid)

One of the roles of Vitamin C is as a metabolic antioxidant due to its ease of oxidation under moderate conditions of temperature and pressure (Leeson and Summers, 2001). Although birds produce their own ascorbic acid, it is not adequate during heat stress, or under conditions of multiple stressors. Providing ascorbic acid in the drinking water at a rate of 1g/L can prevent declines in shell quality due to saline drinking water, although it is not able to treat poor shell quality once it occurs (Balnave et al., 1991). Dietary inclusion at a rate of 250 to 300 ppm is adequate for most stressful conditions (Leeson and Summers, 2001). As an antioxidant, it may also provide a protective effect to the growing embryo. A recent trial providing 75 mg/kg to broiler breeders demonstrated no beneficial effects for egg production, fertility, or hatchability, however (Creel et al., 2001). It is likely that positive effects of ascorbic acid will be nullified by good conditions in the barn. This may be a product that performs better under poor barn or management conditions generating more stress for the birds.

Carotenoids

The carotenoids, with Vitamin E, represent the fat soluble antioxidants that protect the embryo from lipid peroxidation from free radicals. Surai and Sparks (2001) reported carotenoid levels in a corn diet (11.8 mg/kg) to be double that of a wheat/barley based diet (5.6 mg/kg). The corn diet caused higher Vitamin E concentrations in the hatching eggs, and higher Vitamin E in the liver and yolk sac membrane of the newly hatched

chicks. Carotenoid concentrations in eggs and embryos from the corn diet were increased in all areas examined. The maternal diet directly affected the antioxidant potential of the egg yolk and embryonic tissues. In areas where corn is not readily available, carotenoids can still be included in the diet as a specialized feed additive. This may be of value in broiler breeder operations, depending on the additional cost.

Dietary Protein

Egg production of broiler breeder hens can be maintained at a similar level even using diets ranging from 10% to 16% C. P., as long as the lower protein diets are being fortified with methionine and lysine (Lopez and Leeson, 1995). Fertility on the 10% C.P. diet was 95.4% compared to 91.6% on the 16% C.P. diet, suggesting current dietary protein levels are excessive, and are fueling increased growth (Leeson and Summers, 2001). Lower protein diets fed to males improves their fertility through increased semen volume and sperm numbers.

Supplementing the diet with 760 or 1520 mg/kg of choline in combination with various energy sources increased the efficiency of energy and protein utilization while significantly reducing liver fat content. Choline acts as a methyl donor and is considered a lipotropic factor, allowing it to be used in combination with non-corn energy sources known to increase abdominal and liver fat deposition (Rama Rao et al., 2001).

L-Carnitine

L-carnitine is involved in energy metabolism. Lysine and methionine are its precursors. It is a vitamin-like substance that acts in the cells as a receptor for activated fatty acids, allowing fat to be used as an energy source through its translocation into the cell mitochondria. Whereas inclusion at a rate of 500 mg/kg of feed did not affect laying parameters of laying hens, it did accumulate in the yolk at a higher rate. In broiler breeders, L-carnitine was tested at a rate of 0, 20, 50, and 100 mg/kg feed. Egg production parameters were not affected, but hatchability increased by 3 to 5% in groups receiving 50 and 100 mg/kg, and L-carnitine content was increased in egg yolk (Leibetseder, 1995). The L-carnitine may be beneficial to the developing chick embryo due to the high percentage of fat in the embryo that can be used for energy. Concentrations of L-carnitine in embryo and young chick tissues is very low (Rinaudo et al., 1991). Positive effects of L-carnitine may go beyond hatchability and also affect chick vitality and early livability, particularly if access to feed is delayed.

Selenium

Selenium is normally provided in the diet in the form of sodium selenate. An alternate, organic form is Sel-Plex (All-Tech). Past research has also indicated that there may be a higher bioavailability associated with organic Se sources as compared to the traditional inorganic sources commonly used for dietary supplementation. Some very recent research has demonstrated that the inclusion of Se in poultry diets enhances sperm numbers, and using an organic source reduces production of defective sperm (T. Sefton. Alltech, Inc. Guelph, ON. N1G 3J9, Personal

Communication), thereby having a positive effect on the fertilizing potential of the male. Little information is available regarding the effect of dietary Se supplementation on the reproductive efficiency of laying hens.

Organic Se is found in vegetation and animal products chelated with amino acids and substituting for sulfur in methionine and cysteine (Surai, 2000). Organic minerals generally have a higher rate of intestinal absorption, are transported intact and retained better in target tissues or organs (Ashmead and Zunino, 1992). Storage of Se in eggs increases the antioxidative properties of the egg during storage therefore preserving the egg for incubation and potentially increasing hatchability. Cantor (1997) found that eggs from Sel-Plex fed chickens were significantly higher in Se than eggs from selenite fed chickens. Selenium has a Vitamin E sparing action through its involvement in Vitamin E retention in the plasma and through integral involvement with the primary enzymatic defense system the embryo has against lipid peroxidation (Leeson and Summers, 2001).

In the male organic selenium may yield a similar number of sperm, but provides more normal, viable sperm compared to sodium selenate-fed birds. In the female, organic selenium causes significantly more sperm to survive the oviduct environment and reach the site of fertilization compared to sodium selenate provided at a basal level. It is likely that the selenium may be acting at the level of the polyunsaturated fatty acids in the sperm, protecting them from oxidation. The bottom line is an improved fertility and hatchability of breeder eggs due to effects at several levels.

Calcium and Phosphorus

One of the biggest concerns with calcium and phosphorus in the diet is their effect on shell quality and long-term bone strength. Heat stress can interact with calcium metabolism through the clearance of greater amount of calcium carbonate with a faster rate of breathing. Under hot conditions, the timing of the change to a high calcium breeder diet from either a pre-breeder or grower diet becomes more important. Raising the calcium content too early can make the calcium metabolism system sluggish, and unable to respond to high calcium demands for egg production at later ages (D. R. Korver, University of Alberta, Personal communication). Decreased concentrations of plasma ionized calcium or inorganic phosphorus may act at the level of the hypothalamus, blocking the signal to the pituitary to release luteinizing hormone, thereby disconnecting the ovulatory cycle and halting ovarian follicle growth (Luck and Scanes, 1980).

The use of phytase has been proven to be beneficial for calcium and phosphorus digestibility, particularly when the nonphytate phosphorus content of the diet is low (Jalal and Scheideler, 2001). There were positive effects on feed conversion, egg mass at all phosphorus levels, and a response in shell quality and egg components was elicited in a low phosphorus diet.

Conclusions

Managing the broiler breeder female for optimal chick production requires an understanding of reproductive physiology, nutrition, and their interaction. Besides a

thorough knowledge of everyday management, there must also be an awareness of feed ingredients and their interactions both with each other and with environmental effects. Hatching egg production are affected at many levels. Even pullet management can impact reproductive success and future egg size. Whereas the basic composition of the egg is fairly constant, diet and specific feed ingredients can affect what and how much of some of the minor ingredients make it into the egg and ultimately the embryo. Novel feed ingredients are becoming available that behave differently than traditional ingredients and can enhance egg and chick quality under the right conditions. Together these factors, in combination with things we have little control over, such as hen age, weather, and hatchery management, can greatly enhance or reduce the embryo's chance of survival.

References

- ADAMS, N. R., J. A. ABORDI, J. R. BRIEGEL, and M. R. SANDERS, 1994. Effect of diet on the clearance of estradiol-17 β in the ewe. *Biol. Reprod.* 51(4): 668–674.
- ASHMEAD, H. D., and H. ZUNINO, 1992. *Factors which effect the intestinal absorption of minerals.* Pages 21–46 in: *The Roles of Amino Acid Chelates in Animal Nutrition.* H. D. Ashmead, ed. Noyes Publication, Park Ridge, N.J., U.S.A.
- BALNAVE, D., D. ZHANG, and R. E. MORENG, 1991. Use of ascorbic acid to prevent the decline in eggshell quality observed with saline drinking water. *Poultry Sci.* 70:848–852.
- BILGILI, S. F., and J. A. RENDEN, 1985. Relationship of body fat to fertility in broiler breeder hens. *Poultry Sci.* 64:1394–1396.
- BOLLENGIER-LEE, S., P. E. V., WILLIAMS, and C. C. WHITEHEAD, 1999. Optimal dietary concentration of vitamin E for alleviating the effect of heat stress on egg production in laying hens. *Br. Pout. Sci.* 40:102–107.
- BURKE, W. H., 1984. Avian Reproduction. in: *Duke's Physiology of Domestic Animals*, Tenth Edition, M. J. Swenson, ed. Cornell University Press, New York.
- BURNHAM, M. R., E. D. PEEBLES, C. W. GARDNER, J. BRAKE, J. J. BRUZUAL, and P. D. GERARD, 2001. Effect of incubator humidity and hen age on yolk composition in broiler hatching eggs from young breeders. *Poultry Sci.* 80:1444–1450.
- CANTOR, A. H., 1997. *The role of selenium in poultry nutrition.* Biotechnology in the Feed Industry; Alltech's 13th Symposium. Nottingham University Press, Nottingham, England.
- CREEL, L. H., D. V. MAURICE, S. F. LIGHTSEY, and L. W. GRIMES, 2001. Stability of dietary ascorbic acid and the effect of supplementation on reproductive performance of boiler breeder chickens. *Br. Poult. Sci.* 42:96–101.
- ETCHES, R. J., 1996. *Reproduction in Poultry.* CAB International, Wallingford, Oxon.
- FASENKO, G. M., R. T. HARDIN, F. E. ROBINSON, and J. L. WILSON, 1992. Relationship between hen age and egg sequence position with fertility, viability, and preincubation embryonic development in broiler breeders. *Poultry Sci.* 71:1374–1383.
- FREEMAN, B. M., and M. A. VINCE, 1974. *Development of the avian embryo.*, pp. 249–260 Chapman and Hall, London.

- GAAL, T., M. MEZES, R. C. NOBLE, J. DIXON, And B. K. SPEAK, 1995. Development of antioxidant capacity in tissues of the chick embryo. *Comp. Biochem. Physiol.* 112B:711–716.
- GOERZEN, P. R., W. L. JULSRUD, and F. E. ROBINSON, 1996. Duration of fertility in *ad libitum* and feed-restricted caged broiler breeders. *Poultry Sci.* 75:962–965.
- GYLES, N. R., 1989. Poultry, people and progress. *Poultry Sci.* 68:1–8.
- HAVENSTEIN, G. B., P. R. FERKET, S. E. SCHEIDELER, and B. T. LARSON, 1994a. Growth, livability, and feed conversion of 1957 vs 1991 broilers when fed “typical” 1957 and 1991 broiler diets. *Poultry Sci.* 73:1785–1794.
- HAVENSTEIN, G. B., P. R. FERKET, S. E. SCHEIDELER, and D. V. RIVES, 1994b. Carcass composition and yield of 1991 vs 1957 broilers when fed “typical” 1957 and 1991 broiler diets. *Poultry Sci.* 73:1795–1804.
- HOCKING, P. M., A. B. GILBERT, M. WALKER, and D. WADDINGTON, 1987. Ovarian follicular structure of White Leghorns fed *ad libitum* and dwarf and normal broiler breeder pullets fed *ad libitum* or restricted until point of lay. *Br. Poult. Sci.* 28:495–506.
- HOCKING, P. M., M. H. MAXWELL, and M. A. MITCHELL, 1993. Welfare assessment of boiler breeder and layer females subjected to food and water restriction during rearing. *Br. Poult. Sci.* 34:443–458.
- INGRAM, D. R., and H. R. WILSON, 1987. *Ad libitum* feeding of broiler breeders prior to peak egg production. *Nutr. Rep. Int.* 36:939–845.
- JAAP, R. G., and F. V. MUIR, 1968. Erratic oviposition and egg defects in broiler-type pullets. *Poultry Sci.* 47:417–423.
- JALAL, M. A., and S. E. SCHEIDELER, 2001. Effect of supplementation of two different sources of phytase on egg production parameters in laying hens and nutrient digestibility. *Poultry Sci.* 80:1463–1471.
- KATANBAF, M. N., E. A. Dunnington, and P. B. Siegel, 1989b. Restricted feeding in early and late-feathering chickens. 2. Reproductive responses. *Poultry Sci.* 68:352–358.
- KIRUNDA, D.F.K., S. E. SCHEIDELER, and S. R. MCKEE, 2001. The efficacy to vitamin E (DL- α -tocopheryl acetate) supplementation in hen diets to alleviate egg quality deterioration associated with high temperature exposure. *Poultry Sci.* 80:1378–1383.
- LEESON, S., and J. D. SUMMERS, 2001. *Nutrition of the Chicken*. University Books, Guelph.
- LEESON, S., and J. D. SUMMERS, 1991. *Commercial Poultry Nutrition*. University Books, Guelph.
- LEIBETSEDER, J., 1995. Untersuchungen über die Wirkung von L-carnitin beim Huhn. *Arch. Anim. Nutr.* 48:97–108.
- LUCK, M. R., and C. G. SCANES, 1980. Ionic and endocrine factors influencing the secretion of luteinizing hormone by chicken anterior pituitary cells *in vitro*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 41:260–265.
- LUPICKI, M. E., 1994. Ovarian Morphology and Steriodogenesis in Domestic Fowl (*Gallus Domesticus*): Effects of Aging, Strain, Photostimulation Program and Level of Feeding. M.Sc. Thesis. University of Alberta.
- MORAN, E. T., Jr., 1987. Protein requirement, egg formation and the hen's ovulatory cycle. *J. Nutr.* 117:612–618.

- OHTA, Y., M. T. Kidd, and T. Ishibashi, 2001. Embryo growth and amino acid concentration profiles of broiler breeder eggs, embryos, and chicks after in ovo administration of amino acids. *Poult. Sci.* 80:1430–1436.
- PEEBLES, E. D., M. R. BURNHAM, C. W. GARDNER, J. BRAKE, J. J. BRUZUAL, and P. D. GERARD, 2001. Effect of incubational humidity and hen age on embryo composition in broiler hatching eggs from young breeders. *Poultry Sci.* 80:1299–1304.
- QURESHI, M. A., and G. B. HAVENSTEIN, 1994. A comparison of the immune performance of a 1991 commercial broiler with a 1957 randombred strain when fed “typical” 1957 and 1991 broiler diets. *Poultry Sci.* 73:1805–1812.
- RAMA RAO, S. V., G. SHYAM SUNDER, M. R. REDDY, N. K PRAHARAJ, M.V.L.N. Raju and A. K. Panda, 2001. Effect of supplementary choline on the performance of broiler breeders fed on different energy sources. *Br. Poult. Sci.* 42:362–367.
- RENEMA, R. A., F. E. ROBINSON, and G. M. FASENKO, 2001. Effects of feeding regimen and strain on fertility of broiler breeder hens as indicated by the perivitelline layer sperm penetration assay. *Poultry Sci.* 80(Suppl. 1):172.
- RENEMA, R. A., F. E. ROBINSON, J. A. PROUDMAN, M. NEWCOMBE and R. I. MCKAY, 1999b. Effects of body weight and feed allocation during sexual maturation in broiler breeder hens: 2. Ovarian morphology and plasma hormone profiles. *Poultry Sci.* 78:629–639.
- RENEMA, R. A., F. E. ROBINSON, N. V. PREIKSCHAT, and M. J. ZUIDHOF, 1999c. Effects of strain on feed intake, reproductive efficiency, fertility, and carcass characteristics at 49 wk of age in *ad-libitum* fed broiler breeder hens. *Poultry Sci.* 78(Suppl.):7–8.
- RINAUDO, M. T., M. Curto, R. Bruno, M. Piccinini, and C. Marino, 1991. *Int. J. Biochem.* 23:59.
- ROBINSON, F. E., N. A. ROBINSON, and T. A. SCOTT, 1991a. Reproductive performance, growth and body composition of full-fed versus feed-restricted broiler breeder hens. *Can. J. Anim. Sci.* 71:549–556.
- ROBINSON, F. E., R. T. Hardin, N. A. Robinson, and B. J. Williams, 1991b. The influence of egg sequence position on fertility, embryo viability, and embryo weight in broiler breeders. *Poultry Sci.* 70:760–765.
- SIEGEL, P. B., and E. A. Dunnington, 1985. Reproductive complications associated with selection for broiler growth. Pages 59–72 in: *Poultry Genetics and Breeding*. W. G. Hill, J. M. Manson, and D. Hewitt, ed. British Poultry Science Ltd., Harlow.
- SIEGEL, P. B., S. E. PRICE, B. MELDRUM, M. PICARD, and P. A. GERAERT, 2001. Performance of pureline broiler breeders fed two levels of vitamin E. *Poultry Sci.* 80:1258–1262.
- SIEGEL, P. B., E. A. DUNNINGTON, D. E. JONES, C. O. UBOSI, W. B. GROSS, and J. A. CHERRY. 1984. Phenotypic profiles of broiler stocks fed two levels of methionine and lysine. *Poultry Sci.* 63:855–862.
- SPEAKE, B. K., and M. B. THOMPSON, 1999. Comparative aspects of yolk lipid utilization in birds and reptiles. *Poult. Avian Biol. Rev.* 10:181–211.
- SURAI, P. E., 1999. Tissue-specific changes in the activities of antioxidant enzymes during the development of the chicken embryo. *Br. Poult. Sci.* 40:397–405.

- SURAI, P. F., 2000. *Organic selenium: Benefits to animals and humans, a biochemist's view*. Biotechnology in the Feed Industry. Proceedings of Alltech's 16th Annual Symposium. Nottingham University Press, Nottingham, England.
- SURAI, P. E., and N.H.C. SPARKS, 2001. Comparative evaluation of the effect of two maternal diets on fatty acid, vitamin E and carotenoid in the chick embryo. *Br. Poult. Sci.* 42:252–259.
- SURAI, P. F., I. A. IONOV, T. B. KUKLENKO, I. A. KOSTJUK, A MacPherson, B. K. Speake, R. C. Noble, and N.H.C. Sparks, 1998. Effect of supplementing the hen's diet with vitamin A on the accumulation of vitamins A and E, ascorbic acid and carotenoid in the egg yolk and in the embryonic liver. *Br. Poult. Sci.* 39:257–263.
- SURAI, P. E., KUTZ, G. J. WISHART, R. C. NOBLE and B. K. SPEAKE, 1997. The relationship between the dietary provision of α -tocopherol and the concentration of this vitamin in the semen of chicken: Effect on lipid composition and susceptibility to peroxidation. *J. of Reprod. Fertil.* 110:47–51.
- WHITEHEAD, C. C., 2000. Nutrition: the integrative science. *Br. Poult. Sci.* 41:5–15.
- YU, M. W., F. E. ROBINSON, R. G. CHARLES, And R. WEINGARDT, 1992b. Effect of feed allowance during rearing and breeding on female broiler breeders. 2. Ovarian morphology and production. *Poultry Sci.* 71:1750–1761.

IMPACT OF AMBIENT TEMPERATURE ON AMINO ACID EXIGENCY AND CARCASS COMPOSITION IN BROILERS

Pierre-André Geraert

Aventis Animal Nutrition
42 Avenue Aristide Briand, 92160 Antony Cedex, France

Summary

The rapid development of poultry production in hot climate countries places great emphasis on finding solutions to alleviate the depressions in growth and laying performance which occur under such conditions. In broilers, the growth reduction which is only partly explained by decreased feed intake, is also accompanied by enhanced fatness and reduced protein deposition. Drastic changes in protein and amino acid metabolism occur under heat exposure. It appears that means which reduce fat deposition, such as higher amino acid intake and a better balanced supply, could reduce the consequences of heat distress. Complementary means should also be developed to help the birds withstand such drastic conditions.

Introduction

Ambient temperature is an important determinant of bird performance. Hot conditions, particularly, are causing increasing concern due to the rapid development of the poultry industry in hot climate countries and due to the reduced performance of poultry recorded during summer months in temperate climates. Hot conditions may correspond to either chronic heat exposure (several weeks to high ambient temperature) or acute heat exposure (heat stress) (few hours at very high temperature). Responses to these two different conditions do not evoke the same mechanisms. While the heat stress might be alleviated through physical means (increased ventilation rate, use of cooling devices...) to decrease the peak of temperature, the prolonged exposure might be tolerated through nutritional adjustments. Hot environmental conditions decrease production parameters including livability egg production, shell quality, hatchability, growth rate, breast meat yield, feed efficiency and carcass quality.

Birds, like mammals, are homeotherms, and are thus able to maintain a near-constant body temperature. To achieve a constant body temperature, heat produced by metabolism must equal heat loss. In birds, heat losses are limited by feathering which is an efficient insulation and by the absence of sweat glands. The main consequence of heat exposure is thus a reduction in feed intake in order to reduce metabolic heat production. In broilers, this reduction is approximately 1.5 to 2.5% per °C increase in ambient temperature above 20°C, increasing with age and temperature (Howlider and Rose, 1987) and in layers reaches 2.5 to 4 g per °C (Nys, 1995). This reduced feed consumption leads to growth depression and lower egg production. However, the

reduction in growth or in egg production is often greater than the reduction in feed intake, resulting in a lower feed efficiency (Howlader and Rose, 1987; Picard et al., 1993).

Nutrition knowledge gained from the responses of birds under temperate conditions, accumulated over many years, has led to the belief that increasing dietary protein concentration by its resulting increase in heat increment would further impair performance under hot conditions while increasing fat content by its low heat increment would be more efficient. Whilst such a solution seemed promising, the observed results were insufficient to have spread the uptake of this strategy throughout the world. A statement often made by poultry nutritionists is that temperature does not change requirements for protein (Daghir, 1995; Cheng et al., 1997). As in the same manner as under thermoneutral conditions, rebalancing the dietary amino acid profile and thus allowing a decrease in total protein concentration with use of synthetic amino acid has often been proposed to counteract the effect of chronic heat exposure. However, the ideal amino acid balance has to be completely re-examined under hot conditions.

The discrepancy between nutritional theory, mainly acquired in thermoneutral conditions, and practical performance results obtained in hot climate countries led to first reconsider the profound modifications induced by heat exposure at the metabolic level to be able to define possible nutritional strategies. Choice-feeding experiments could also give indications about the preferred nutritional solution by the birds. Strategies based on high dietary protein or balanced amino acid supply will then be reviewed. Advantages of genetically leaner birds will be addressed in relation with protein content of the diet.

Hot conditions drastically change carcass composition

Using pair-feeding techniques, Geraert et al. (1996) demonstrated that about half of the growth reduction effect of chronic heat exposure was not related to feed intake, and thus could have other origins. Moreover, enhanced fatness has been observed in heat-exposed chickens despite their lower intake. Howlader and Rose (1987) found an increase of 0.8 and 1.6% in body lipid content and in abdominal fat proportion respectively per degree rise between 21 and 29°C.

This increased fatness has been further analyzed by Aïn Baziz et al. (1996) who found that abdominal, subcutaneous and intermuscular fat deposits were enhanced in hot conditions (32°C): + 15, 21 and 22% compared to the control group (22°C) and + 58, 64 and 33% compared to the control exposed, pair-fed birds (Table 1). Moreover, in heat-exposed chickens, saturated fatty acid proportions, particularly palmitic acid (C16:0) were increased and conversely, unsaturated fatty acid percentages were decreased especially oleic and linoleic acids (Sonayia, 1988). Consequently, heat exposure significantly decreased the unsaturated to saturated fatty acid ratio in abdominal and subcutaneous fat tissues. These great changes in lipid deposition suggest profound modifications in metabolism.

Yalçın et al. (1999) confirmed the increased fat and decreased protein contents of breast under summer versus spring conditions. Protein retention also appeared to be reduced in heat-exposed broilers (Bonnet et al., 1997; Tesseraud et al., 1997) (Table 2). Even when taking into account the reduction in feed intake, nitrogen retention

Table 1 — Effect of heat exposure (4 to 7 weeks of age) on lipid deposition in *ad libitum* heat-exposed (32AL), *ad libitum* control-exposed (22AL) and pair-fed control-exposed (22PF) 7-wk old male broilers (after Aïn Baziz et al., 1996)

	22AL	22PF	32AL
Final Body Weight (g)	2372a	1905b	1660c
Feed Conversion Ratio (g:g)	2.22a	2.11a	2.73b
Abdominal Fat ¹	2.85a	1.86b	3.28a
Breast Meat ¹	13.4a	13.6a	11.9b
Subcutaneous Fat ²	5.80b	3.94c	7.01a
Intermuscular Fat ²	2.90b	2.59b	3.53a
Intramuscular Fat ³			
Breast	1.50ab	1.32b	1.67a
Leg	4.04ab	3.80b	4.50a

1: in g/100g body weight; 2: in g/100g leg weight; 3: in g lipids/100 g tissue
a, b, c: means in a row not followed with the same letter differ significantly at P<0.05.

is decreased by up to 30% (Temim et al., 1999). Geraert et al. (1996) observed that after two weeks at 32°C, protein gain decreased by 54% and protein efficiency by 46%. Tawfik et al. (1992) reported lower glycine and proline contents of breast muscle of heat-exposed chickens compared with 18°C exposition.

Table 2 — Effect of chronic heat exposure (4 to 6 weeks of age) on nitrogen (N) ingested, excreted and retained in *ad libitum* heat-exposed (32AL), *ad libitum* control-exposed (22AL) and pair-fed control-exposed (22PF) 7-wk old male broilers (After Bonnet et al., 1997).

	Diet 1 (20% CP)			Diet 2 (18.8% CP)		
	22AL	22PF	32AL	22AL	22PF	32AL
N intake (g)	16.7a	10.4b	9.8b	14.8a	9.9b	9.4b
N excreted (g)	8.2a	5.0b	5.5b	7.4a	5.0b	5.6b
N retention (%)	51.1a	51.9a	43.2b	49.9a	49.9a	40.4b

a, b, c: means in a row, within a diet, not followed with the same letter differ significantly

Finally, heat stress prior to slaughter is also causing increased incidence of pale, soft exudative meat characteristics in broilers (Northcutt et al., 1994) as well as in turkeys (McKee and Sams, 1997).

Chronic heat affects lipid and protein metabolisms

Surprisingly, the enhanced fatness does not result from an increased lipogenesis, malic and isocitrate deshydrogenase enzymes are indeed decreased, or a higher peripheral uptake through lipoprotein lipase which is even reduced under hot conditions but by a lower utilisation of stored fatty acids. Lipolytic indicators, i.e. β -hydroxy-acyl deshydrogenase activity and plasma D-3-hydroxybutyrate are reduced under hot exposure (Aïn Baziz, 1996). This increased fatness might also explain the improved broiler meat flavour observed under high cycling temperature by Sonayia et al. (1990).

In recent years, protein metabolism has received much more attention compared with previously. Reduction in protein deposition depends on the muscle type. Indeed, while most authors have recorded a reduction in the range 10 to 15% in the pectoral muscle in proportion to body weight (Tesseraud and Temim, 1999; Aïn Baziz et al., 1996), muscle proportion in the legs often appears enhanced, suggesting differential effects according to muscle metabolism and main energy substrate.

Using the large dose technique (flooding dose of ^3H -Phe), Temim et al. (1999, 2000a and 2000b) demonstrated that chronic heat exposure reduced protein synthesis and breakdown, thus reducing protein turn-over. This was associated with significant decreases in the capacity for protein synthesis and in the translational efficacy. The reduced protein deposition observed under heat exposure was explained by a greater decrease in protein synthesis compared with protein breakdown. However, this effect differs with the type of muscle: protein synthesis was more reduced (-35%) in the *Pectoralis*, mainly glycolytic using glycogen as substrate, than in the *Sartorius* or *Gastrocnemius* (-20%) which are more oxidative and use fatty acids as main source of energy (Tesseraud and Temim, 1999).

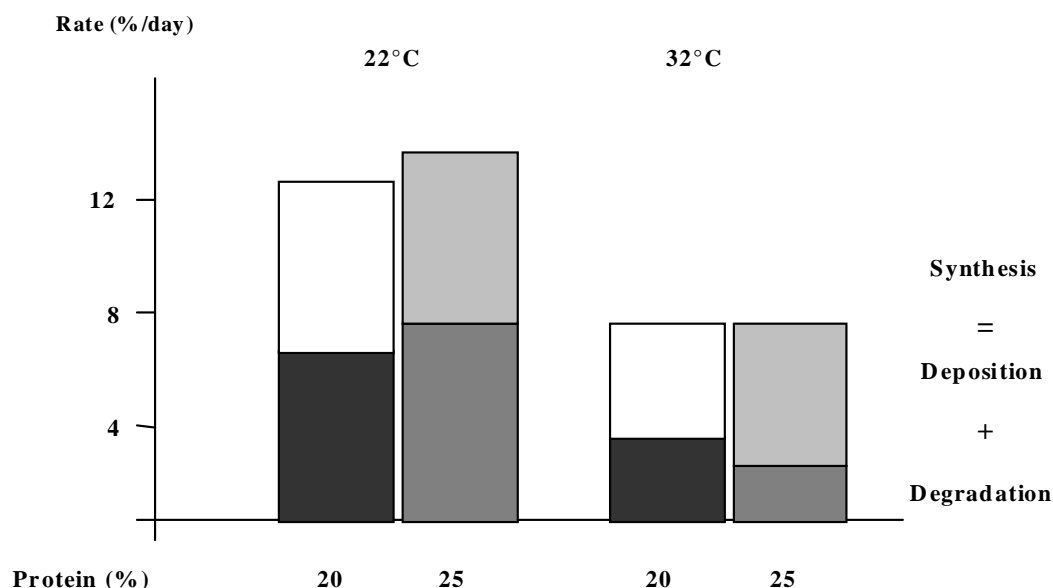


Figure 1 — Effect of 4-6 wk heat exposure on protein deposition in heat- or control-exposed male broilers fed 20 or 25% crude protein (after Temim et al., 2000b).

In order to study the possible influence of a limitation in amino acid supply for protein synthesis, the effect of a dietary protein supplementation (25% vs 20% crude protein, Figure 1) was evaluated. Surprisingly, under hot conditions, conversely to what is observed under thermoneutral conditions, increasing the dietary protein intake did not stimulate either proteosynthesis nor traduction efficacy but rather decrease proteolysis (Figure 1). Another possibility is the limitation in the readily available energy for protein synthesis at the muscular level. Indeed, artificial glucose supplementations have been reported to restore part of the growth potential under hot conditions (Hayashi et al., 2001).

Heat-exposed birds prefer high protein diets

It is often assumed that the heat increment induced by protein consumption would also limit protein intake. However, when placed in a choice-feeding situation, broilers selected a greater proportion of a high compared with a low protein diet (Figure 2; Hruby et al., 1995) whereas, irrespective of the ambient temperature, chickens consume less protein with increasing age. Recently, MacLeod and Dabutha (1997) presented similar results obtained in heat-exposed quails having the choice between a 45% and 10% protein diets. Increasing ambient temperature from 20 to 35°C, had no significant effect on food intake by weight but the proportion of the high energy choice decreased and conversely the proportion of the lower-energy but high protein choice increased. These birds consumed 62 and 36% of their total intake as the high protein feed under hot and thermoneutral conditions respectively. However all previous studies have not shown the same results. This might relate to the degree of imbalance in the dietary amino acids in these specific experiments. The enhanced intake of the high protein diet might suggest an increased need for protein under hot conditions either associated with the overall decreased food intake or a more specific need in order to maintain protein deposition and thus growth.

Ideal amino acid balance might differ under heat exposure

Due to its lower heat increment, fat supplementation has often been proposed as a means of enhancing feed intake at high temperature. However, the higher net energy content of fat counteracts the benefits in terms of energy intake and also increases fat deposition. Indeed, using a wide range of diet composition, 50 to 150 g/kg lipids and 2800 to 3300 kcal ME/kg, Aïn Baziz et al. (1990) could not find any gain in protein deposition under hot conditions but only changes in fat deposition. Surprisingly, increasing the dietary protein content from 170 to 300 g/kg did not result in enhanced heat increment as expressed by the slope of the regression between heat production and ME intake, suggesting different metabolic pathways under hot conditions. Recently, Padilha (1995) showed that enhancing the total protein content of the finisher diet from 15 to 25% resulted in an increased weight gain under constant high temperature (32°C) while under thermoneutral conditions, weight gains

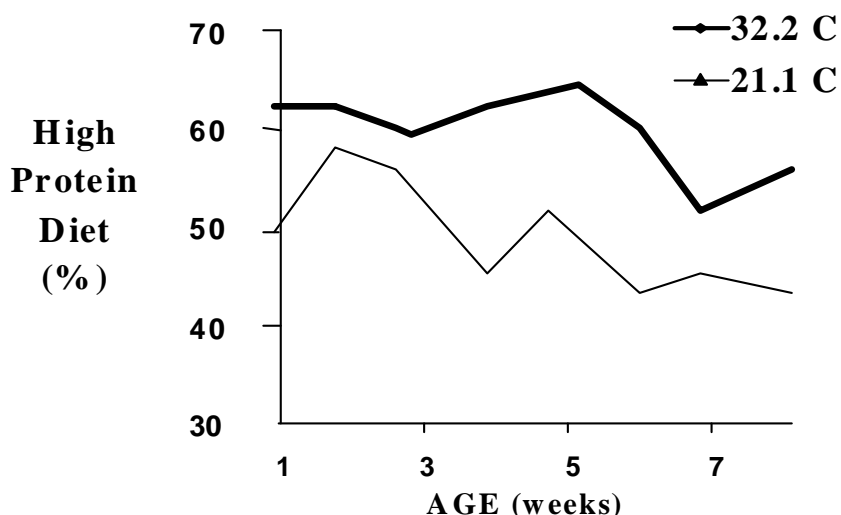


Figure 2 — Effect of ambient temperature on choice-feeding between high (25% CP) or low (8.8% CP) protein isoenergetic diets in chickens from 1 to 19 weeks of age (after Hruby et al., 1995).

of chickens plateau beyond 20%. Similarly, in layers a positive effect of high protein diets has been reported by Uzu (1989).

Is the positive effect of high protein diets due to increased needs for some amino acids? Dietary supplementation with common amino acids used in poultry nutrition such as methionine, lysine or threonine has not always shown significant improvements. Rose and Salah Uddin (1997) found a significant lysine balance x temperature interaction. The relative changes in growth rate were less affected by lysine to protein ratio at 30°C than at lower temperatures.

The effect of temperature on lysine requirement could also depend on sex, being more important for females, as revealed by Han and Baker (1993). Moreover, Balnave and Oliva (1990) reported a lower need for methionine under hot constant or cycling temperatures: 0.22 vs. 0.26 g methionine per MJ energy. Austic (1985) and Waldroup (1982) reviewing the literature concluded that there was no evidence for an increased need in amino acids above 32°C which was also observed by Nadeem et al. (1999) under dry summer conditions. Due to drastic changes in feathering under hot conditions, requirements for cystine and methionine might differ. A reexamination of methionine and cystine utilisations have to be further studied as proposed by Edwards and Baker (1999).

However blending protein sources in combination with synthetic amino acids addition might help to restore performance under hot conditions. Recently, Alleman and Leclercq (1997) compared a standard protein diet (20%) to a low protein diet (16%) but rebalanced with synthetic amino acids. Lysine, sulphur amino acid (methionine) and the other essential amino acid contents were added according to the latest requirement figures obtained under thermoneutral conditions (Leclercq, 1997). High temperature reduced growth rate, feed efficiency, as well as breast meat proportion and increased fatness. Whereas under thermoneutral conditions, both diets gave same performance

and breast meat deposition, under hot conditions, low-protein fed broilers exhibited lower weight gain and decreased breast meat deposition (Table 3).

Table 3 — Ideal amino acid balance measured at thermoneutrality is no more ideal under hot conditions (after Alleman and Leclercq, 1997)

Temperature	22°C		32°C	
Protein (g/kg)	160	200	160	200
Live weight gain (g)	1783c	1779c	939a	1118b
Feed intake (g)	3256c	3108b	2279a	2333a
Feed conversion ration (g:g)	1.811b	1.772a	2.413d	2.194c
Abdominal fat (g/kg)	2.78ab	2.20a	3.77c	3.24b
Breast meat (g/kg)	14.7c	15.4c	12.1a	13.5b

Finally, an interesting strategy, based on enhancing the arginine to lysine ratio, was recently proposed by Brake and Balnave (1995). Arginine supplementation appeared to have a strong effect on viability under acute heat stress (Table 4). Reviewing a serie of 5 experiments, Brake et al. (1998) concluded that increasing the Arg to Lys ratio at high temperature (constant or cycling) produced consistent improvements in feed efficiency without any loss in growth. Whereas Mendes et al. (1997) did not conclude on a positive effect of increasing Lys or Arg: Lys ratio under different environmental conditions, their results showed a consistent improvement of 3–6 week weight gain, feed efficiency and breast meat yield at an Arg: Lys ratio of 1.3. Increasing Lys to 1.3% during that period also enhanced performance parameters.

Metabolic needs for arginine would thus appear to be increased while at the same time its availability is reduced. Using the *in vitro* methodology with intestine fragments (Brake et al., 1998) showed that whereas under temperate conditions, arginine and lysine uptakes were similar, under hot conditions arginine uptake by the intestine significantly dropped compared with lysine uptake. Such a discrepancy would create an imbalance under hot climates.

To reconsider the amino acid balance, it might be worthwhile to investigate the plasma amino acid profiles of heat-exposed and control-exposed broilers. Geraert et al. (1996) found significant decreases in all plasma amino acids except for aspartic and glutamic acids. Padilha, (1995) demonstrated that supplying a high protein balanced diet could significantly decrease the difference between plasma amino acid profiles at both temperatures and thus greatly improve growth under hot conditions. Thus, ideal amino acid balance differs under different ambient temperatures.

Table 4 — Effect of arginine: lysine ratio on weight gain (W.G.), feed conversion ratio (FCR) and mortality in chickens exposed to 21 or 31°C and submitted at 43 days of age to a heat stress (35°C) (after Brake and Balnave, 1995).

T (°C)	Ratio	W.G	FCR	Mortality	35°C -43d
21	1.05	1124	2.18	0	25
	1.15	1142	2.14	0	25
	1.25	1159	2.15	0	35
	1.35	1110	2.20	0	30
31	1.05	971	2.12	15	15
	1.15	980	2.13	5	10
	1.25	988	2.10	5	6
	1.35	1011	2.17	0	0

Is there an effect of methionine source ?

It is difficult to find constant and significant difference in bioefficacy between methionine (DLM) and methionine hydroxy analogue (HMB) under hot conditions. Rostagno and Barbosa (1995) compared the bioequivalency between DLM and HMB under hot conditions and found similar values compared with those obtained at thermoneutrality. The only trials showing slightly better performances, feed conversion ratio and nitrogen retention are those from Swick et al. (1990, 1991) and were mainly published in Conference Proceedings. Balnave and Oliva (1990), Wiernusz and Teeter (1994) and Teeter et al. (1996) could not demonstrate any difference between sources under hot constant or cyclic conditions.

The scientific basis to account for these differences in efficacy between both sources was first thought to be linked to divergence in absorption or transport mechanisms. Hot conditions have indeed been demonstrated to affect digestibility and intestinal absorption (Bonnet et al., 1997; Mitchell and Carlisle, 1990). However, large discrepancies exist between *in vitro* methodologies to measure transport mechanisms. The two forms of methionine are not absorbed by the same mechanism. While DLM is mainly absorbed through a broad specificity energy and Na-dependent neutral amino acid B-type transporter, HMB uses a non-stereo specific H⁺-dependent intermediate affinity transport system (Maenz and Engel-Schaan, 1996a and 1996b). However even in this area controversy still exists. While Dibner et al. (1992) and Knight et al. (1994) wrote that diffusion was very important for HMB, Maenz and Engel-Schaan (1996a) could not demonstrate such a mechanism. Indeed diffusion could be less affected by heat-induced changes in physiology than active mechanisms.

As indicated by Dr. Maenz, caution must be exercised when trying to extrapolate *in vivo* consequences from *in vitro* measurements. Direct measures of *in vivo* passage rate and clearance in the intestinal lumen have to be performed to further understand

if differences might exist between the two forms of methionine. However, no clear performance evidence exists to show differences between methionine forms.

When considering the difference between methionine source, this should be allied to the knowledge of the dietary Arg:Lys ratio (Balnave et al., 1999). Indeed these authors showed that birds fed HMB had better feed intake, weight gain and FCR at a high Arg:Lys ratio. Such results need to be repeated before using in the field.

Genetic as a mean to improve heat resistance

Recent studies have shown that genetically lean broilers are more resistant to hot conditions, showing enhanced weight gains and better feed and protein efficiencies than their fat line counterparts (Geraert et al., 1993; Cahaner et al., 1995) despite the fact that the lean birds showed a higher heat increment and increased feathering (Geraert et al., 1993). Leenstra and Cahaner (1992) also reported that broilers selected for improved feed conversion (FC line) showed the best growth rate and the lowest body fat content under a hot climate. Lean and FC genotypes are characterized by a lower energetic efficiency, i.e. an increased heat production per MJ ingested, which might signify improved heat loss capacities. Moreover, the lean genotypes appeared more efficient in transforming high protein supply into weight gain and lean mass deposition under hot climatic conditions than fat ones (Table 5; Cahaner et al., 1995).

Table 5 — Effect of genotype (selection on low, LF, or high, HF, abdominal fat proportion or selection on bodyweight gain, WI) and dietary crude protein content (high: 227 and low: 161 g/kg) on growth, feed conversion ratio (FCR) and carcass components of broilers reared at high ambient temperature between 4 and 8 weeks of age (Cahaner et al., 1995)

Line	LF		WI		HF	
Dietary Protein Content	High	Low	High	Low	High	Low
Weight gain (g)	1198	1050	982	1057	1110	1034
FCR	2.60	2.80	3.02	2.99	2.84	2.95
Abdominal Fat (% BW)	2.18	2.33	2.86	3.42	3.64	5.28
Breast Meat (%BW)	16.5	14.9	14.8	14.2	14.4	13.8

Another genetic improvement often considered under hot conditions is the naked neck (Na/na+) genotype which appears to grow heavier under summer conditions and to deposit more breast meat than their na+/na+ counterparts (Yalçın et al., 1999). However, whereas the methionine requirement was often considered to be increased under hot conditions (Balnave and Oliva, 1990), Pesti et al. (1996) and Yalçın et al. (1999) did not find any difference in methionine requirements between naked neck or normal genotypes irrespective of the ambient temperature. Such findings might also be due to the non separation of methionine and cystine requirements in those studies.

Finally, it might be worthwhile to reconsider developing genetic selection programs under hot conditions to get better adapted broilers. Indeed, heritability of growth under hot conditions appeared rather high (Beaumont et al., 1997).

Conclusion

Nutrition might thus appear a potential means to alleviate some of the loss of performances under hot conditions. However, a better knowledge of the effects of heat exposure on amino acid metabolism is first necessary to design adequate diets. Indeed, in broilers, the better resistance of lean genotypes suggests that protein metabolism might be the key factor to improve performance under hot conditions. Dietary protein or amino acid supplementations would be beneficial. However, whereas most of the knowledge in amino acid nutrition has been done under thermoneutral conditions, few studies have looked at the requirements under hot conditions. Ideal amino acid balance thus appears to depend on the ambient temperature. Finally, feed digestibility, particularly protein and amino acid intestinal absorptions which were lowered under hot conditions should also be improved under hot conditions, to avoid further imbalances. In that respect, use of in-diet enzyme supplementations might reduce disturbances in feed transit, endogenous enzyme activities and absorption mechanisms.

Minerals and vitamins have often been proposed to alleviate part of the consequences of heat exposure. Supply of electrolytes, especially carbonate (HCO_3^-) and potassium (K^+) through drinking water appeared easy and cheap. Such supplementations have given positive results on performance (Gorman and Balnave, 1994; Silva et al., 1996) which could be explained by an enhanced water intake (Balnave and Oliva, 1990). A recent field experiment conducted in France and involving 24 breeding units with two identical houses demonstrated a potential benefit of such a supplementation (0.065% NaHCO_3 and 0.035% KCl) when ambient temperature was above 30°C: three quarter of the breeding units had greater performance (final bodyweight and feed conversion ratio) and mortality during the finishing period was reduced by 86% (Bouvarel et al., 1998). Finally, vitamin E supplementation would also be able to reduce stress conditions in heat-exposed birds, by protecting the cell membranes of metabolically-active organs such as liver. Indeed, in heat-stressed laying hens an extra-dietary vitamin E supplementation helped to sustain laying performance by restoring the capacity of the hepatocyte to export the vitellogenin, main precursor of the yolk (Bollengier et al., 1998; Whitehead et al., 1998) which is reduced under heat exposure.

Finally acclimation to hot conditions is also an interesting strategy to avoid losses due to heat stress in the finishing period. The principle is to take advantage of the immaturity of the thermoregulation mechanisms in the first week of life (Yahav, 2001).

Acknowledgements

I would like to particularly thank scientists directly involved in the work presented above: Prof. Padilha (UFSC, Brazil), Dr H. Aïn Baziz (ITPE, Algiers), Dr S. Bollengier

(Edinburgh Univ, UK) and Dr S. Temin (INRA, France) as well as INRA, CNPq, Aventis AN, Sypram Fund and Region Centre for their financial support.

Bibliography

- AÏN BAZIZ, H. 1996. PhD Thesis, Tours University, France.
- AÏN BAZIZ, H., GERAERT, P.A. and GUILLAUMIN, S., 1990. In: *Proc. VIIIth Europ. Poult. Conf.* (Ed Fira de Barcelona, WPSA) 1: 626–629.
- AÏN BAZIZ, H., GERAERT, P.A., PADILHA, J.C.F. and GUILLAUMIN, S., 1996. *Poultry Science* 75: 505–513.
- ALLEMAN, F. and LECLERCQ, B., 1997. *British Poultry Science* 38: 607–610.
- AUSTIC, R. E., 1985. Pages 123–136 in: *Stress Physiology in Livestock*. M. K. Yousef, ed, Florida: CRC Press, Boca Raton.
- BALNAVE, D., and OLIVA, M., 1990. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 557–564.
- BALNAVE, D., HAYAT, J. and BRAKE, J., 1999. In *Proc. 11th Austr. Poult. Sci. Symp.* 11: 166.
- BOLLENGIER-LEE, S., MITCHELL, M. A., UTOMO, D. B., WILLIAMS, P. E. V., and WHITEHEAD, C. C., 1998. *British Poultry Science* 39: 106–112.
- BONNET, S., GERAERT, P. A., LESSIRE, M., CARRÉ, B. and GUILLAUMIN, S., 1997. *Poultry Science* 76: 857–863.
- BOUVAREL, I., FARGEAS, E., FERCHAL, E., ROFFIDAL, L., GUILLAUMIN, J.M., de Saint Jean, B. and Tesseraud, S., 1998. *Sciences et Techniques Avicoles*, 24: 15–18.
- BRAKE, J. AND BALNAVE, D., 1995. In *Biokyowa Symp., Poult. Sci. Proc Annual Meeting XIIth*.
- BRAKE, J., BALNAVE, D. and DIBNER, J. J., 1998. *British Poultry Science* 39: 639–647.
- CAHANER, A., PINCHASOV, Y., Nir, I. and Nitsan, Z., 1995. *Poultry Science* 74: 968–975.
- CHENG, T. K., HAMRE, M. L., and COON, C. N., 1997. *Journal of Applied Poultry Research* 6: 1–17.
- DAGHIR, N. J., 1995. Daghir, N. J., Ed, Cab International, Wallingford, UK.
- DIBNER, J. J., ATWELL, C. A., and IVEY, F. J., 1992. *Poultry Science* 71: 1900–1910.
- EDWARDS, H. M. AND BAKER, D. H. 1999. *Poultry Science* 78: 1418–1423.
- GERAERT, P. A., GUILLAUMIN, S. and LECLERCQ, B., 1993. *British Poultry Science* 34: 643–653.
- GERAERT, P. A., PADILHA, J. C. F. and GUILLAUMIN, S., 1996a. *British Journal of Nutrition* 75: 195–204.
- GERAERT, P. A., PADILHA, J. C. F. and GUILLAUMIN, S., 1996b. *British Journal of Nutrition* 75: 205–216.
- GORMAN, I. and BALNAVE, D., 1994. *British Poultry Science* 35: 563–572.
- HAN, Y., and BAKER, D. H., 1993. *Poultry Science* 72: 701–708.
- HAYASHI, K., TANIGUSHI, N., KINJOU, T. and OHTSUKA, A. 2001. In *Proceedings 13th WPSA European symposium on Poultry Nutrition*, Oct 01-04, 2001, Blankenberge, B, pp 250–251.

- HOWLIDER, M. A. R. and ROSE, S. P., 1987. *World's Poultry Science Journal* 43: 228–237.
- HRUBY, M., HAMRE, M. L., and COON, C. N., 1995. *J. Applied Poultry Research* 4: 356–365.
- KNIGHT, C. D., WUELLING, C. W., ATWELL, C. A. and DIBNER, J. J., 1994. *Poultry Science* 73: 627–639.
- LECLERCQ, B. 1997. In *Proceedings 11th WPSA European symposium on Poultry Nutrition*, Aug 24–28, 1997, Faaborg, DK, pp 131–146.
- LEENSTRA, F. and CAHANER, A. 1992. *Poultry Science* 71: 1994–2006.
- MAC LEOD, M.G. and DABUTHA, L. A. 1997. *British Poultry Science* 38: 586–589.
- MAENZ, D. D. and ENGELE-SCHAAN, C. M., 1996b. *Journal of Nutrition* 126: 1438–1444.
- MAENZ, D. D., and ENGELE-SCHAAN, C. M. 1996a. *Journal of Nutrition* 126: 529–536.
- MCKEE, S. R. and SAMS, A. R. 1997. *Poultry Science* 76: 1616–1620.
- MENDES, A. A., WATKINS, S. E., ENGLAND, J. A., SALEH, E.A., WALDROUP, A. L. and WALDROUP, P. W., 1997. *Poultry Science*, 76: 472–481.
- MITCHELL, M. A., and CARLISLE, A. J. 1992. *Comparative Biochemistry and Physiology* 101A: 137–142.
- NADEEM, M. A., GILANI, A. H. and KHAN, A. G., 1999. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 12: 772–775.
- NORTHCUTT, J. K., FOEGEDING, E. A. and EDENS, F. W., 1994. *Poultry Science* 73: 308–316.
- NYS, Y., 1995. *Proc. Vith Europ. Symp. Egg Quality*, 25–29/09/95, Zaragoza, WPSA.
- PADILHA, J. C. F., 1995. PhD Thesis, Tours University, France.
- PICARD, M., SAUVEUR, B., FENARDJI, F., ANGULO, I. and MONGIN, P., 1993. *INRA Productions Animales* 6: 87–103.
- ROSE, S. P. and SALAH UDDIN, M., 1997. *British Poultry Science* Spring meeting, Subm. Paper 5, 29–30.
- ROSTAGNO, H. S. and BARBOSA, W. A., 1995. *British Poultry Science* 36: 303–312.
- SILVA, P. C., SOUSA, F. M., FUENTES, M. F. F., GOMES, A. T. V., BARBOSA, P. S. and FERNANDES, R. N. N., 1996. In: *Proc. XXth World Poultry Congress, WPSA, New-Delhi*, 2–5 Sept. 1996, Vol. IV, 256.
- SONAYIA, E. B. 1988. *British Poultry Science* 29: 589–595.
- SONAYIA, E. B., RISTIC, M. and KLEIN, F. W. 1990. *British Poultry Science* 31: 121–128.
- SWICK, R. A., CRESWELL, D. C., DIBNER, J. J. and IVEY, F. J., 1990. *Poultry Science* 69 (Suppl 1): 194 Abst.
- SWICK, R. A., IVEY, F. J. and DIBNER, J. J., 1991. *Poultry Science* 70 (Suppl 1) : 185 Abst.
- TEETER, R. G., BELAY, T., and CASON, J. J., 1996. *Feedstuffs*, Sept 2, 12–14.
- TEMIM, S., CHAGNEAU, A. M., GUILLAUMIN, S., MICHEL, J., PERESSON and Tesseraud, S., 2000a. *Poultry Science* 79: 312–317.
- TEMIM, S., CHAGNEAU, A. M., GUILLAUMIN, S., MICHEL, J., PERESSON, R., GERAERT, P. A. and TESSERAUD, S., 1999. *Reproduction, Nutrition, Development* 39: 145–156.

- TEMIM, S., CHAGNEAU, A. M., PERESSON, R. and TESSERAUD, S., 2000b. *Journal of Nutrition* 130: 813-819.
- TESSERAUD, S. and TEMIM, S., 1999. *INRA Productions Animales* 12: 353–363.
- TESSERAUD, S., TEMIM, S., CHAGNEAU, A. M., GUILLAUMIN, S., MICHEL, J., PERESSON, R., and GERAERT, P. A., 1997. In: *2èmes J. Rech. Avicole, Apr, 08-10. Tours (France)*, I, pp 99-102.
- UZU, G., 1989. In: *1st French-Egyptian Symposium on Poultry Science and Development*, 28–30/03/1989, El Cairo, (Egypt), M. Larbier Ed, 245-256.
- WALDROUP, P. W., 1982. *Federation Proceedings* 41: 2821–2823.
- WHITEHEAD, C. C., BOLLENGIER-LEE, S., and MITCHELL, M. A., 1998. *British Poultry Science* 39: 544–546.
- WIERNUSZ, C. J., and TEETER, R. G., 1994. *Poultry Science* 73 (Suppl 1) : 220 Abst.
- YAHAV, S. 2001. In *Proceedings 13th WPSA European symposium on Poultry Nutrition*, Oct 01–04, 2001, Blankenberge, B, pp 233–236.
- YALÇIN, S., ÖZKAN, S., AÇIKGÖZ, Z. and ÖZKAN, K., 1999. *British Poultry Science* 40: 688–694.

RELATIONSHIP BETWEEN NUTRITION AND THE IMMUNE SYSTEM IN POULTRY

Doug Korver¹

Kirk Klasing²

¹Department of Agricultural, Food and Nutritional Sciences, 4-10 Agriculture/Forestry Centre
University of Alberta, Edmonton, AB T6G 2P5 Canada

²Department of Animal Science, Meyer Hall, University of California,
Davis, CA 95616 USA

Introduction

Nutrients play an important role in the protection of the host against invading pathogens. Nutrient deficiencies can affect immune function, usually in a negative manner. Certain nutrients are capable of modulating the function of the immune system through a variety of mechanisms. This paper will discuss the impact that nutrients have on immune function, and the effect of an immune system response on the nutritional status and needs of the animal.

Nutritional Modulation of Immune Function

Development of the immune system

Nutrients are required to provide the building blocks for immune cells and tissues. This includes non-specific mechanisms such as the skin, which presents a physical barrier to pathogens, as well as cells such as T and B lymphocytes, macrophages, and natural killer cells. Several nutrients are especially important in early development of the immune system. Vitamin A levels necessary to maximize immunocompetence have been shown to be much higher than that needed for optimum growth and feed efficiency (Sklan et al., 1994; Friedman and Sklan, 1997). Other nutrients which can affect early immune development are linoleic acid, iron, selenium and some of the B vitamins (Klasing, 1998).

Much of the development of immune tissues occurs late in incubation and the early part of life. Therefore, maternal nutritional status and deposition of nutrients, as well as early nutrition play an important role in this means of nutritional immune system modulation.

Substrate supply

Although the response to an infectious challenge is a highly complex event requiring scores of modulators and messengers, the actual amount of material used in the immune response may be quite low. Leukocytes have been calculated to make up approximately 0.42% of the body mass of a chicken, and the total amount of antibody present in the body is less than 0.1% of body weight, even in the event of antibody

production in response to a challenge (Klasing, 1998). Much of the demand for nutrients during an infection come as a result not of nutrient demand by leukocytes, but from the acute phase response. This response occurs shortly after exposure to an immunogen, and is characterized by synthesis of acute phase proteins by the liver, fever, and increased whole-body protein turnover and hepatic gluconeogenesis (Grimble, 1996; 1998; Moldawer and Copeland, 1997).

Nutritional immunity

Nutritional immunity refers to redistribution of certain nutrients within the body of the host to limit the availability of these to invading pathogens. The efficacy of this strategy is shown by studies in which increasing plasma iron concentrations increases mortality following an *Escherichia coli* challenge (Tufte and Nockels, 1991). As part of the acute phase response, iron and zinc are removed from circulation and stores in the liver and extrahepatic tissues, limiting their availability to pathogens.

Hormonal milieu

Immune cells have receptors for a wide variety of hormones regulated by diet, including insulin, insulin-like growth factors, glucagon, thyroxine, catecholamines and corticosterone (Klasing, 1998). Improvements in both cell-mediated and antibody responses have been shown in chicks following a brief period (12-24 h) of feed deprivation. Longer-term feed restriction tends to impair antibody and cell-mediated responses.

Regulatory actions of nutrients

The complexity of the immune response requires vast numbers of molecules communication. Ultimately, these mediators are derived from the nutrients ingested by the host. Some of the mediators, particularly those derived from dietary fatty acids can have altered potency based on the precursor molecule. The eicosanoids are derived from 20-carbon polyunsaturated fatty acids. Those derived from the n-6 family of polyunsaturated fatty acids (PUFA) are much more potent in their pro-inflammatory actions than those derived from the n-3 family of PUFA. The feeding of diets enriched in n-3 PUFA dramatically decrease the inflammatory response to *Eimeria tenella* (Korver et al., 1997; 1998). Vitamins A, D, and E all have regulatory roles in the immune system (Cook, 1991).

Reduction of pathology

Activation of cellular components of the immune system result in the release of destructive molecules into the microenvironment. These molecules are used by the body to kill invading pathogens, but can also be damaging to the host tissues. Many of these molecules are oxygen-based, and are referred to as reactive oxygen species (ROS). Vitamins E and C work together as antioxidants to protect cells from damage by the ROS. Dietary cysteine is incorporated into the antioxidant glutathione, and

dietary sulfur-amino acid deficiency can have a pro-oxidant effect *in vivo* (Grimble, 1996; 1998). By increasing the ability of the host to protect itself against the ROS, a more intense response to pathogens may be allowed.

Physical/chemical actions in GI tract

The contents of the gastrointestinal tract include not only ingested nutrients, but a large volume of bacteria, both pathogenic and nonpathogenic. The body must maintain a balance between excluding the bacteria, and allowing absorption of nutrients from the GI tract. The physical nature of the diet can impact the integrity of the barrier between the lumen of the intestine and the animal. Chemical composition can alter bacterial populations by increasing digesta viscosity or by providing nutrients which are preferentially used by certain bacteria.

Effect of Feed Restriction and Specific Nutrients on Immune Function.

Through the mechanisms discussed earlier, specific nutrients can impact, positively or negatively, the immune response of an animal.

Feed Restriction

Short-term feed restriction (12-24h) can enhance the response of birds to a vaccination relative to fasted or *ad libitum*-fed birds (Cook, 1991). Longer periods of restriction or fasting can have a deleterious effects on the immune response, associated with increasing levels of corticosterone.

Energy

Energy restriction of birds has a varying effect on immune function, depending on the level of other nutrients in the diet. When chicks were fed a calorie- and amino acid-deficient diet, antibody responses were equal to that of control chicks fed an adequate diet. Over-consumption of amino acids due to feeding a calorie-deficient, amino acid-sufficient diet was associated with decreased antibody responses (Cook, 1991).

Carbohydrates

Benson et al. (1993) reported that at equal dietary energy levels, corn starch decreased the growth-suppressive effects of lipopolysaccharide injection of chicks relative to diets containing corn oil. Part of this effect may be due to the pro-inflammatory effects of diets high in n-6 PUFA.

Lipids

The fatty acid composition of the diet can have a dramatic effect on the specific (Fritsche et al., 1991), and the inflammatory (Korver et al., 1997, 1998) aspects of the immune response. These actions are mediated largely through the activity of eicosanoids, which are metabolites of 20-carbon polyunsaturated fatty acids.

When certain eicosanoids are derived from n-3 PUFA (eg. prostaglandin E₃ and leukotriene B₅), they have much lower potencies as pro-inflammatory mediators than do the corresponding eicosanoids derived from n-6 PUFA (eg. prostaglandin E₂ and leukotriene B₄). The eicosanoids can affect both the release of pro-inflammatory cytokines from effector cells such as macrophages, as well as the effect of those cytokines at the level of the target tissues. Therefore, the n-3 PUFA tend to have an anti-inflammatory effect, while the n-6 PUFA tend to have a pro-inflammatory effect.

Vitamins

The effect of vitamin A on immune function was discussed earlier. Vitamin E can exert an anti-inflammatory effect by decreasing the production of prostaglandin by activated leukocytes. Peripheral blood monocytes have a receptor for 1,25 dihydroxycholecalciferol, and may be associated with decreased IL-1 activity (Cook, 1991).

Water-soluble vitamins are also involved in immune responses. Vitamin C is intimately involved in the regeneration of functional vitamin E after that vitamin has quenched free-radical reactions, thus allowing the protection of the host against ROS. Vitamin B₆, although not an antioxidant, plays an important role in antioxidant defence by virtue of its metabolic role in the formation of cysteine, which is the rate-limiting precursor in the formation of glutathione (Grimble, 1998).

Minerals

Copper deficiency can decrease antibody response, mitogen-induced blastogenesis and mixed-lymphocyte reactions in mice, and addition of copper to poultry diets increased primary antibody response. Zinc deficiency also has been demonstrated to suppress immune functions in mammals and poultry (Cook, 1991).

Protein and Amino Acids

Chicks fed diets low in essential amino acids had decreased delayed-type hypersensitivity and secondary IgG responses relative to chicks fed adequate diets, although this effect may have been due to amino acid imbalances rather than a deficiency per se (Cook, 1991). Specific amino acids in general tend to decrease humoral response, while having a lesser effect on cellular immunity. Total sulfur amino acid (TSAA) deficiency may limit the availability of cysteine for production of glutathione, and therefore limit antioxidant defenses against ROS produced during an immune response. Results of studies in which deficiencies in TSAA were caused have had mixed results. Bhargave et al., (1970) found that a methionine deficiency resulted in increased antibody levels, while Tsiagbe et al. (1987) suggested that the requirement for methionine for maximum antibody titres was greater than that for growth. Discrepancies in these results may be the result of differing experimental designs and antigens used.

Impact of an Immune Response on Nutrition

The immune response can be divided into two basic components. There are non-specific defenses, which protect the host by excluding pathogens, or by creating conditions within the host which provide an inhospitable environment for a wide range of pathogens. Barriers to entry and survival of pathogens include the skin, the mucus coat of the GI tract, and molecules such as agglutinins, precipitins, acute-phase proteins, lysozyme, etc. These mechanisms act non-specifically in that they are not targeted against a specific pathogen; many different pathogens can induce similar responses. Once a pathogen has gained entry to the host, the initial response is an inflammatory response. Because this response is non-specific, the effects are often systemic within the host, and can have effects throughout the body. Fever, cachexia, and anorexia are all examples of byproducts of the inflammatory response which have systemic effects.

Cells involved in the non-specific response include natural killer cells, and pro-inflammatory cells such as macrophages, monocytes and neutrophils or heterophils. The inflammatory response results in a series of behavioral, immunologic, vascular and metabolic responses. The sum of these responses results in slowed growth rate, the loss of skeletal muscle, decreased appetite, morbidity and possibly mortality. The mortality is often due to the effects of the mediators of inflammation produced by the host, rather than the pathogen itself. This is evidenced by the use of bacterial lipopolysaccharide (LPS) to induce an inflammatory response. In this model, bacterial cell wall components mimic the effects of bacterial infection, even though the LPS is sterile. The host recognizes the LPS as being foreign, and mounts an inflammatory response, even though not responding would have no deleterious effect on the host. The inflammatory response can result in dramatic decreases in productivity of animals; antibiotics appear to work by minimizing the necessity of the inflammatory response to deal with bacteria (Roura et al., 1992). Following an inflammatory response, animals may undergo compensatory growth. During this time, nutrient needs of the animal may be increased.

The second aspect of the immune response is the specific immune response, in which very specific molecules such as immunoglobulins are produced to respond to a very specific antigen. The specific defenses employed by the host include the humoral response (Immunoglobulins from B cells) and the cellular response (T-cell mediated). This response is much more focused, and therefore the action of the immune system does not tend to have a large direct effect on the host in terms of nutrition. As discussed previously, the nutrient needs of the cell types involved in specific responses are minimal compared to the alterations in metabolism and demand associated with an inflammatory response. Much research in the area of nutrition-immune function interactions is aimed at modulating immune responses so that specific immunity, rather than inflammation is the predominant response.

Summary

Through a number of mechanisms, dietary components can have direct and indirect implications on the intensity and efficacy of immune responses. Some nutrients are capable of increasing immune responses, others are capable of decreasing

immune responses. An appropriate immune response is not always the most vigorous one; inappropriate (e.g. autoimmunity), excessive (e.g. inflammatory responses to non-pathogens) or inadequate (e.g. low antibody response to viral challenge) are all examples of cases in which the immune system can let the host down. An appropriate balance among the various components is necessary to ensure host survival and ability to recover from the challenge.

Bibliography

- BENSON, B. N., C. C. CALVERT, E. ROURA and K. C. KLASING, 1993. Dietary energy source and density modulate the expression of immunologic stress in chicks. *J. Nutr.* 123:1714–1723.
- BHARGAVA, K. K., R. P. HANSON and M. L. SUNDE, 1970. Effects of methionine and valine on antibody production in chicks infected with Newcastle disease virus. *J. Nutr.* 100:241.
- COOK, M. E., 1991. Nutrition and the immune response of the domestic fowl. *Crit. Rev. Poultry Biol.* 3:167–189.
- FRIEDMAN, A. and D. SKLAN, 1997. Effects of retinoids on immune responses in birds. *World's Poultry Sci. J.* 53:186–195.
- FRITSCH, K. L., N. A. Cassity and S. Huang, 1991. Effect of dietary fat source on antibody production and lymphocyte proliferation in chickens. *Poultry Sci.* 70:611–617.
- GRIMBLE, R. F., 1996. Interaction between nutrients, pro-inflammatory cytokines and inflammation. *Clin. Sci.* 91:121–130.
- GRIMBLE, R. F., 1998. Modification of inflammatory aspects of immune function by nutrients. *Nutr. Res.* 18:1297–1317.
- KLASING, K. C., 1998. Nutritional modulation of resistance to infectious diseases. *Poultry Sci.* 77:1119–1125.
- KORVER, D. R., P. WAKENELL and K. C. KLASING, 1997. Dietary fish oil or Lofrin, a 5-lipoxygenase inhibitor, decrease the growth-suppressing effects of coccidiosis in broiler chicks. *Poultry Sci.* 76:1355–1363.
- KORVER, D. R., E. ROURA and K. C. KLASING, 1998. Effect of dietary energy level and oil source on broiler performance and response to an inflammatory challenge. *Poultry Sci.* 77:1217–1227.
- MOLDAWER, L. L. and E. M. COPELAND, III, 1997. Proinflammatory cytokines, nutritional support, and the cachexia syndrome. *Cancer* 79:1828–1839.
- ROURA, E., J. HOMEDES and K. C. KLASING, 1992. Prevention of immunologic stress contributes to the growth-promoting ability of dietary antibiotics in chicks. *J. Nutr.* 12:2383–2390.
- SKLAN, D., D. MELAMED and A. FRIEDMAN, 1994. The effect of varying levels of dietary vitamin A on immune response of the chick. *Poultry Sci.* 73:843–847.
- TSIAGBE, V. K., M. E. COOK, A. E. HARPER and M. L. SUNDE, 1987. Enhanced immune responses in broiler chicks fed methionine-supplemented diets. *Poultry Sci.* 66:1147.
- TUFFT, L. S. and C. F. NOCKELS, 1991. The effects of stress, *Escherichia coli*, dietary ethylenediaminetetraacetic acid, and their interaction on tissue trace elements in chicks. *Poultry Sci.* 70:2439–2449.

EFEITO DO BALANÇO ENTRE AMINOÁCIDOS E A RELAÇÃO ENERGIA/PROTEÍNA SOBRE O SEU METABOLISMO: DESEMPENHO E COMPOSIÇÃO CORPORAL EM FRANGOS DE CORTE

Murdo G. MacLeod

Roslin Institute (Edinburgh), Midlothian EH25 9PS, Escócia

Introdução

A energia é necessária em todos os estágios da utilização de aminoácidos: consumo, digestão, absorção, transporte, conversão, síntese protéica e excreção de nitrogênio. Os aminoácidos também podem ser fonte de energia, especialmente quando fornecidos em excesso. Como o consumo de ração é fortemente controlado em termos de consumo de energia, é necessário manter a relação correta entre aminoácidos individuais e a concentração dietética de energia. Isto tem o corolário de que, se for permitido que a ave coma para satisfazer sua exigência de energia e as razões aminoácido:energia forem mantidas constantes, o aumento do consumo de energia vai sempre ser associado com o aumento do consumo de aminoácidos. Se uma ave é selecionada para maior taxa de crescimento e seu consumo de ração aumenta proporcionalmente, é, portanto, possível que o consumo absoluto de um aminoácido possa ser mantido a um nível que sustente o crescimento máximo sem que o nutricionista tenha que aumentar a concentração do aminoácido na dieta. Isto pode explicar porque cientistas não encontram sempre um aumento na exigência de aminoácidos (expressa como concentração na ração) quando as aves são selecionadas para crescimento rápido (p. ex. Han e Baker, 1991). No entanto, a teoria diria que as exigências de aminoácidos devem mudar à medida que a taxa de crescimento e a composição corporal mudam, já que as quantidades de aminoácidos sendo usadas para manutenção, síntese de proteína muscular e de penas deve mudar. Estas mudanças podem ser previstas pela modelagem, mas às vezes são difíceis de detectar em experimentos. Manter a composição de aminoácidos na dieta o mais próximo das exigências da ave é essencial para maximizar o desempenho. As dietas atuais de frangos de corte são mantidas com a mesma composição por duas a três semanas. Isto pode ocorrer por razões puramente operacionais e, portanto, devemos ter como objetivo que o fornecimento seja o mais próximo possível das exigências.

Razão proteína: energia e composição corporal

Sabe-se há muito que a composição corporal de aves é influenciada pela razão proteína:energia da dieta (Fraps, 1943; Bartov et al., 1974; Jackson et al., 1982; Gous et al., 1990). Se a concentração de energia metabolizável na dieta é relativamente alta em relação às concentrações de nutrientes essenciais, o “excesso” de energia

consumida e absorvida será depositado (principalmente como gordura) ou dissipado (como calor). MacLeod (1990, 1992) demonstrou, usando calorimetria indireta em períodos de 4 dias de medição, que aves em crescimento respondem a uma grande variação de consumos de energia e de proteína e a variações extremas na razão proteína:energia, mas através de mudanças na taxa de energia dissipada como calor, e sim através de mudanças na quantidade de energia retida e na partição de energia entre proteína e gordura. Foi concluído que a variação na produção de calor não tinha um papel regulatório importante na deposição de energia e na composição corporal. Para avaliar estas conclusões em uma amostra em um prazo maior, aves da mesma linha e sexo foram criadas com as mesmas dietas experimentais de 3 a 6 semanas de idade. Foram determinados o consumo de ração e de energia, ganho de peso corporal, composição corporal e ganho de energia corporal, e a produção de calor foi calculada por diferença. O menor consumo de massa de ração com aumento da concentração de EMA na dieta limitou o aumento de consumo de EMA em 25%, apesar do aumento de quase 2 vezes na concentração de EMA. Não houve efeito da concentração de PB no consumo de ração. O consumo de PB foi diretamente relacionado à razão PB:EMA. Quando as diferenças em peso corporal foram levadas em conta, a produção de calor foi independente da concentração dietética de EMA, mas aumentou ao redor de 8% nas dietas de alta proteína. Houveram fortes correlações lineares entre a razão PB:EMA na dieta e razão proteína:energia na carcaça, teor de gordura e de proteína na carcaça. Foi concluído que aves em crescimento responderam à razão nutriente: energia na dieta e às diferenças associadas em consumo de nutrientes e de energia variando a taxa de deposição de energia como gordura, sem variação regulatória da dissipação de energia como calor. Algumas das figuras de MacLeod (1991) estão reproduzidas abaixo de forma simplificada (sem pontos de dados individuais) para ilustrar algumas das relações entre as respostas das aves e as características energéticas e protéicas da dieta.

Balanço de aminoácidos e gordura

Como vimos acima, há evidências de que a redução da proteína bruta da dieta aumenta o teor de gordura corporal; isto provavelmente seria melhor descrito como redução da razão PB:EMA. A questão mais interessante é se reduzir o teor de proteína bruta mantendo o consumo de uma mistura balanceada de aminoácidos também aumenta o teor de gordura corporal.

Esta questão foi abordada em um detalhado experimento de Deschepper e de Groote (1995). Eles examinaram os efeitos de dietas de baixa proteína suplementadas com aminoácidos cristalinos sobre crescimento, composição de carcaça e retenção de nitrogênio. A deposição de gordura abdominal (AFD), rendimento de carcaça, gordura e proteína na carcaça e retenção de nitrogênio foram determinados às 6 semanas de idade. Durante o período inicial, os pintos receberam uma dieta com 230g/kg de proteína bruta (PB) e uma dieta de baixa proteína suplementada com aminoácidos sintéticos dentro (1) das recomendações do NRC (National Research Council), (2) iguais às suas concentrações na dieta de 230g/kg ou (3) de acordo com o padrão de composição corporal. Foram adicionados ácido glutâmico e glicina a algumas dietas como fonte de aminoácidos não-essenciais. As dietas usadas entre 3 e 6 semanas

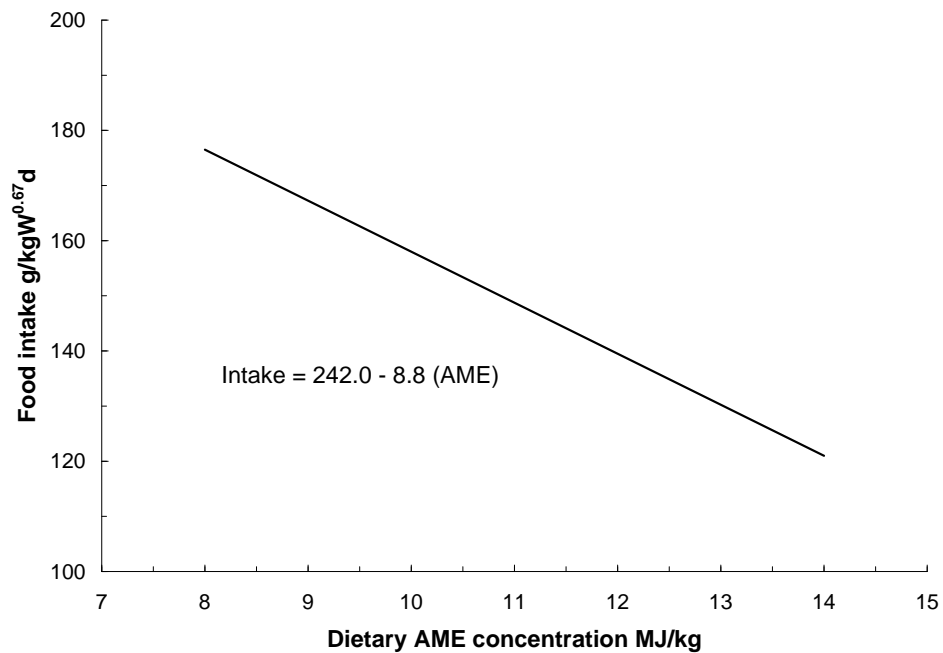


Figure 1 — Consumo diário de massa alimentar em relação à concentração de EMA na dieta.

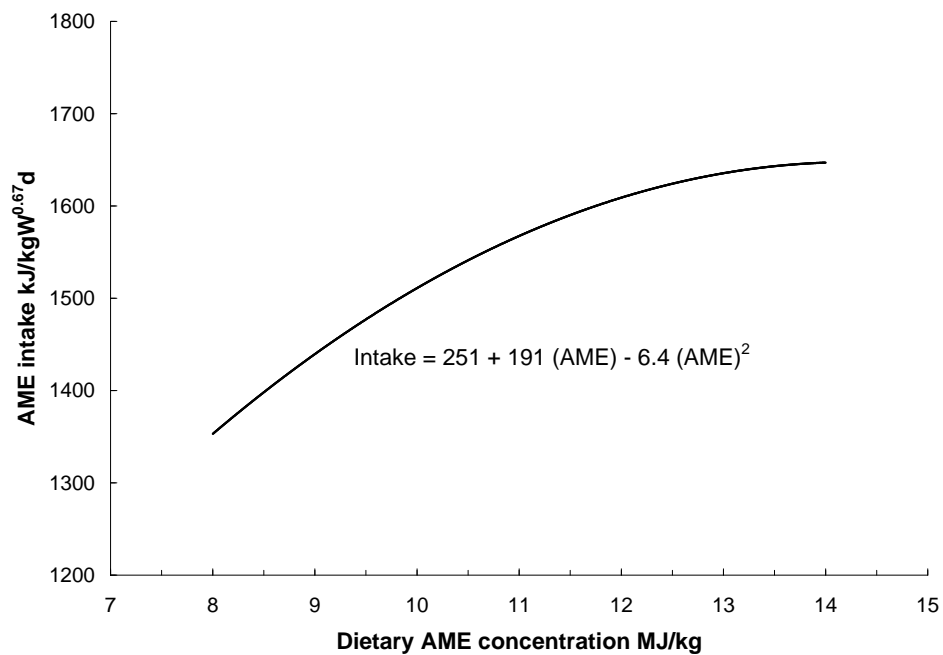


Figure 2 — Consumo diário de energia em relação à concentração de EMA na dieta.

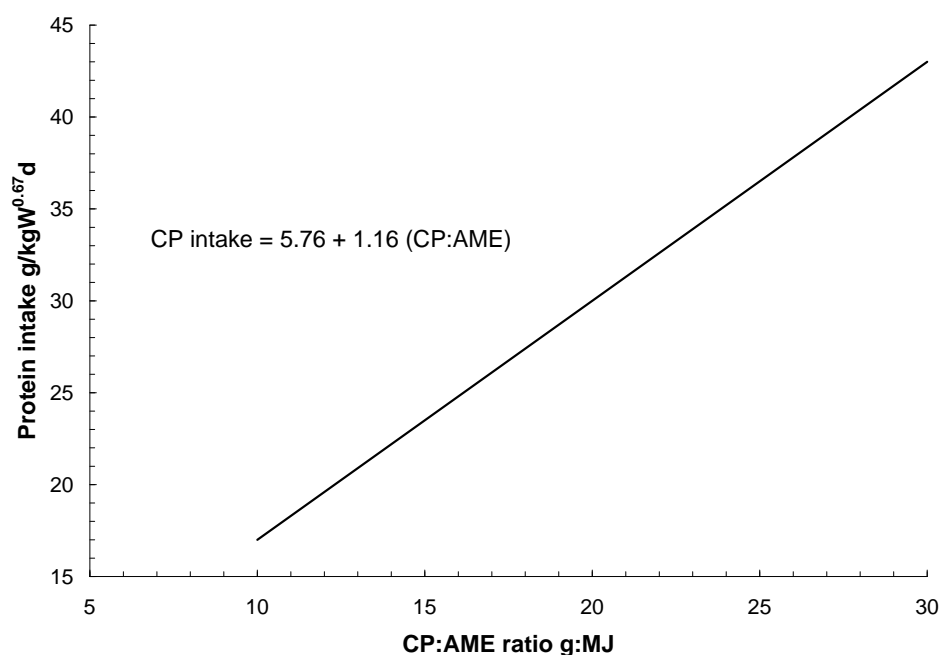


Figure 3 — Consumo diário de proteína bruta em relação à razão PB:EMA da dieta.

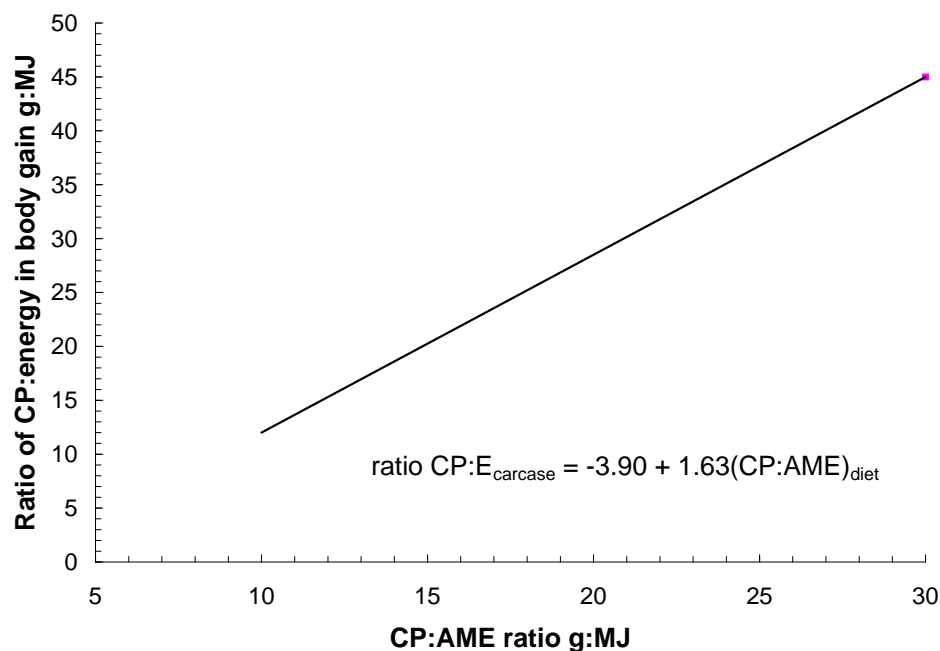


Figure 4 — Relação entre a razão proteína:energia (PB:E) em ganho corporal e razão PB:EMA, expressos em g/kg:MJ/kg.

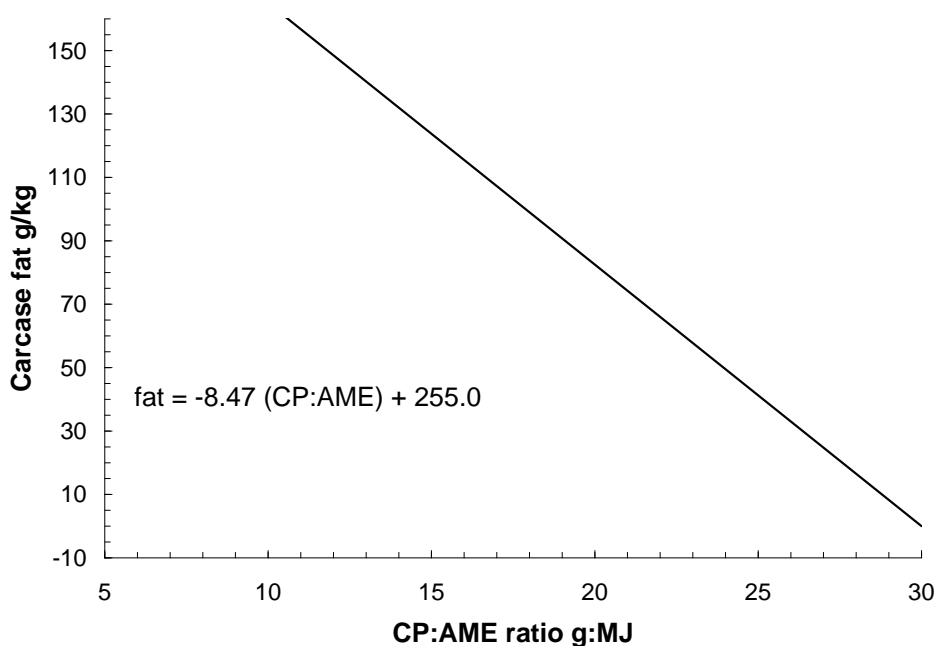


Figure 5 — Teor de gordura na carcaça (extrato etéreo ácido, g/kg peso vivo) em relação à razão PB:EMA.

foram comparáveis às dietas iniciais, exceto por conter mais EMA (12,9 MJ/kg) e menos proteína.

Aves alimentadas com dieta de baixa proteína suplementadas com aminoácidos essenciais e não-essenciais para igualar as quantidades no controle ou para similar o perfil de aminoácidos da proteína corporal tiveram o mesmo desempenho que as controle (dieta de alta proteína). A eficiência da utilização de proteína em aves com dietas de baixa proteína foi maior que a das aves alimentadas com a dieta-controle e sua excreção de nitrogênio diminuiu em 26%. A percentagem de rendimento de carcaça e teor de proteína na carcaça não foram afetadas pela dieta, mas o teor de gordura na carcaça e de gordura abdominal aumentaram com a diminuição do teor de proteína na dieta.

Os resultados de Deschepper e de Groote, portanto, demonstraram que o desempenho pode ser sustentado com dietas de baixa proteína suplementadas com aminoácidos sintéticos para aproximação com o balanço ideal de aminoácidos. No entanto, também mostraram que as dietas balanceadas de baixa proteína também resultam em aumento do teor de gordura na carcaça.

Efeitos dietéticos sobre aves selecionadas para gordura ou tecido magro

Embora a composição corporal de um dado genótipo possa ser modificada pela nutrição, existem diferenças claras entre genótipos em sua predisposição para depositar gordura ou tecido magro (Whitehead, 1999). Uma série de linhagens experimental de frangos foi selecionada para características relacionadas à deposição

de gordura. Leclercq et al., 1980 e Cahaner et al., 1985 selecionaram em base ao tamanho do depósito de gordura abdominal. Whitehead e Griffin (1984) selecionaram linhagens gordas e magras de frangos usando a concentração plasmática de lipoproteína de densidade muito baixa (VLDL) como critério de seleção. VLDL são as partículas que transportam lipídios do fígado, onde são sintetizados, para o tecido adiposo. A concentração plasmática de VLDL teve forte correlação com o teor de gordura corporal. Embora as linhagens selecionadas para alto teor de gordura corporal tendessem a ter um maior consumo de ração que as linhagens magras, a hiperfagia não foi uma causa primária de gordura nestas linhagens. A restrição alimentar a 75% do consumo à vontade ou a alimentação pareada (Leclercq e Saadoun, 1982; Geraert et al., 1987a) não evitaram obesidade, mas a reduziu em extensões variadas (Lilburn et al., 1982). A metabolizabilidade da energia foi pouco afetada pela seleção para aves gordas ou magras (Geraert et al., 1987b; MacLeod et al., 1988). Assim, a nível de metabolismo energético corporal, se aves magras e gordas têm consumos semelhantes de energia metabolizável, a diferença na composição corporal deve ser explicada por uma destas duas hipóteses:

1. Uma diferença no gasto de energia que resultaria em diferentes retenções de energia.
2. Uma diferença na partição da mesma quantidade de energia retida entre gordura e proteína.

O metabolismo basal estimado como produção de calor em jejum por unidade de peso metabólico ($\text{kJ/kgP}^{0.75} \cdot \text{d}$) não foi diferente entre as linhagens (Geraert et al., 1987b) ou levemente mais baixo na linhagem gorda (MacLeod et al., 1988). A exigência de EM para manutenção foi semelhantes nas linhagens gordas e magras (Geraert et al., 1987b; MacLeod et al., 1988). A primeira hipótese formulada acima (que a divergência em composição corporal pode ser devida a diferenças no gasto de energia) não parece ser sustentada pelas evidências. Portanto, a diferença crítica entre as linhagens deve estar na partição entre a gordura e a proteína de uma quantidade similar de energia retida. Aves selecionadas direta ou indiretamente para alto teor de gordura corporal em base a critérios diferentes de consumo de ração exibem uma taxa mais alta de catabolismo protéico do que as magras. A cadeia de carbono dos aminoácidos está, portanto, sendo desviada da incorporação na proteína para o pool de substratos energéticos. Isto foi confirmado por estudos bioquímicos (Saunderson e Whitehead, 1987; Whitehead e Saunderson 1988). Saunders (1988) usou técnicas de modelagem para demonstrar que as diferenças observadas entre as linhas gorda e magra podem ser produzidas por mudanças relativamente pequenas em uma série de vias, e não em um loco genético. Whitehard (1990) mostrou que era possível produzir a mesma composição corporal em linhagens gordas e magras fornecendo à linhagem gorda uma dieta com uma maior razão PB:EM. Aos níveis de proteína que promovem crescimento razoável nas duas linhagens, a diferença necessária no teor de proteína poderia ser ao redor de 70 g PB/kg de dieta.

Efeitos da má qualidade da proteína: desbalanço de aminoácidos

Boorman (1999) faz um relato conciso e bem argumentado da utilização de aminoácidos de proteínas de má qualidade: “Todas as proteínas são misturas de aminoácidos. Em relação às exigências do animal, é provável que sempre um aminoácido essencial esteja em menor quantidade que os outros. A resposta à proteína é a resposta a este aminoácido. É relevante perguntar se este aminoácido está sendo fornecido em uma proteína de má qualidade”. A análise crítica do trabalho de Fisher et al. (1960) e de Netke et al. (1960) por Boorman (1999) demonstra que o balanço de aminoácidos afeta primariamente o consumo de ração e que qualquer depressão do crescimento é resultado de uma redução do consumo do aminoácido limitante, e não da eficiência de utilização. Isto é ilustrado em desbalanços específicos por Sugahara et al. (1985) e Sugahara e Kubo (1992).

No entanto, há efeitos antagonistas específicos, como os entre lisina e arginina e entre leucina, isoleucina e valina (Harper et al., 1970). Estes antagonismos estão resumidos especificamente para aves por d'Mello (1994). Geralmente, envolvem interações entre aminoácidos estruturalmente semelhantes. A lisina antagoniza especificamente a utilização de arginina. A leucina prejudica a utilização de isoleucina e valina; todos os três compostos são aminoácidos de cadeia ramificada. Na prática, os antagonismos podem ser aliviados pela suplementação dietética de arginina, isoleucina e valina. Como seu principal produto de excreção é o ácido úrico, as aves não são capazes de sintetizar arginina. Isto as torna particularmente sensíveis ao antagonismo da lisina. Há aumento da atividade da arginase renal em pintos que recebem excesso de lisina, levando a um aumento da degradação da arginina (d'Mello, 1994).

Se um desbalanço de aminoácidos prejudica o apetite, valeria a pena ser testado como método de restrição de crescimento, talvez para reduzir a incidência de distúrbios metabólicos. Acar et al. (2001) investigaram o uso de excesso de aminoácidos suplementares como forma de suprimir o apetite, restringindo assim o crescimento de frangos; o objetivo prático era reduzir a incidência de distúrbios metabólicos. Foram adicionados aminoácidos cristalinos a uma dieta basal dando totais de 15,7; 25,7 e 35,7 g/kg de histidina, 27,0; 43,0 e 59,0 g/kg de lisina 13,6; 21,6 e 29,6 g/kg de metionina, 28,0; 38,0 e 48,0 g/kg de treonina e 12,7; 22,7 e 32,7 g/kg de triptofano. Estas dietas foram fornecidas entre 4 e 11 dias de idade. No dia 21, os músculos pectoralis major e minor, fígado e gordura abdominal foram pesados. Concentrações elevadas de metionina e de histidina causaram a maior depressão do apetite. A taxa de crescimento foi significativamente reduzida pelos níveis intermediário e alto de suplementação de aminoácidos. Do dia 11 ao 14, a taxa de crescimento foi a mais alta depois de altas concentrações de metionina ou de triptofano, indicando um maior potencial de crescimento compensatório depois destes tratamentos. O alto nível de histidina diminuiu a percentagem de rendimento do músculo pectoralis minor, enquanto que altas concentrações de lisina e metionina aumentaram o peso relativo do fígado. Estes resultados indicam que é possível usar excesso de aminoácidos individuais para suprimir o apetite e o crescimento precoce rápido para aliviar o minimizar os distúrbios metabólicos.

A maioria das tabelas nutricionais especifica uma “exigência” de proteína bruta total, assim como exigências de aminoácidos individuais. Uma determinação mais precisa das exigências de aminoácidos menos limitantes (p. ex., treonina, isoleucina, valina) e o conseqüente uso de uma mistura protéica mais “ideal” deve aumentar a eficiência e reduzir a poluição por nitrogênio. No entanto, há evidências de que um certo excesso de proteína bruta na dieta também é benéfico.

Aminoácidos e rendimento de cortes

Há vários artigos sugerindo que o rendimento de cortes pode ser influenciado pelo aumento da concentração de aminoácidos específicos. Como é o corte de mais alto valor, a maioria ressalta a carne de peito. A maioria, mas não todos, indica que uma maior concentração do aminoácido em questão é necessário para maximizar o rendimento de peito do que a necessária para maximizar a taxa de crescimento.

Como exemplo de trabalho onde uma concentração mais alta não pareceu ser necessária para a deposição de peito, Mack et al. (1999) verificaram que as estimativas de exigências de lisina (dias 20–40) eram maiores para a conversão alimentar a 12,1 g lisina/kg de dieta. As concentrações ideais de lisina para ganho de peso e rendimento de peito foram consideravelmente menores, de 10–11 g/kg. A maioria dos outros aminoácidos testados também resultou altas exigências para CA, sendo os ideais para ganho de peso e peso de peito semelhantes entre si. No entanto, outros resultados recentes, inclusive os de Kerr et al. (1999), indicaram benefícios do fornecimento de concentrações mais altas de lisina do que as citadas nas tabelas nacionais (p. ex., NRC). Além disso, há dados que sugerem que a exigência de lisina para rendimento de carne é maior do que o nível considerado adequado para conversão alimentar. No trabalho de Kerr et al. (1999) o peso corporal foi maximizado com aves recebendo 109–113% das recomendações do NRC. A conversão alimentar foi maximizada com 120% das recomendações. O peso de peito e rendimento proporcional aumentaram significativamente com lisina até 121% das recomendações do NRC. Leclercq (1998) também sugeriu que a lisina exerce efeitos específicos sobre a composição corporal a concentrações dietéticas maiores do que as necessárias para máxima taxa de crescimento. Ele identificou uma hierarquia de exigências. A exigência para ganho máximo foi menor que a exigência para eficiência alimentar e a exigência para gordura abdominal mínima foi a mais alta de todas. No estudo de Leclercq (1998), a treonina não teve efeito tão pronunciado sobre a composição corporal e a valina não teve efeito. Estes diferentes efeitos de lisina, treonina e valina produziram diferentes perfis de exigências de aminoácidos de acordo com os critérios usados para determinar a exigência. Como Mack et al. (1999) também demonstraram, o modelo matemático usado para calcular a exigência de um aminoácido também pode influenciar os perfis de exigências de aminoácidos.

Schutte e Pack (1995) viram que a exigência de metionina + cistina era mais alta para máxima eficiência de utilização de ração e rendimento de peito do que para obter ganho máximo de peso. Com base na da eficiência alimentar e no rendimento de peito, a exigência de metionina+cistina foi estimada em pelo menos 8,8 g/kg para o período entre 14 e 38 dias de idade. Nos experimentos de Huyghebaert e Pack (1996), a metionina e a cistina aumentaram claramente o rendimento ao abate e o rendimento

de peito, e houve redução da deposição de gordura. A resposta em rendimento de peito sugeriu um importante benefício econômico para o processamento. A retenção de nitrogênio aumentou significativamente com a suplementação de metionina e cistina cristalinas, levando a reduções de até 30% na quantidade de nitrogênio excretada por kg de ganho de peso. Em comparação com a DL-metionina, uma mistura de 1:1 de DL-metionina e L-cistina teve uma eficiência de apenas 81 ou 86%, respectivamente, para sustentar o crescimento e a conversão alimentar. Os aminoácidos sulfurados da proteína adicionados foram usados com menor eficiência ainda.

Wallis (1999) verificou que suplementos dietéticos de metionina aumentaram o rendimento de peito e diminuíram a gordura abdominal em frangos em crescimento. As aves cresceram significativamente mais rápido, comeram mais e tiveram uma melhor eficiência alimentar quando havia mais DL-metionina ou um análogo (hidróxi-análogo de metionina sem ácido, MHA-FA) na dieta. Depois de retirar a variação devida a diferenças de tratamento na massa corporal, os dados mostraram que a adição de DL-metionina ou de MHA-FA à dieta aumentou a massa de peito e reduziu a gordura abdominal. Equações exponenciais ajustadas para dados de massa corporal e de conversão alimentar indicam que, em comparação equimolar, o MHA-FA tem uma potência de 78 e 70% da DL-metionina para crescimento e conversão alimentar, respectivamente. Equações semelhantes ajustadas para dados de carcaça mostram que a potência do MHA-FA é de apenas 71% da DL-metionina na deposição de tecido de peito. Quantidades crescentes de DL-metionina reduziram a variabilidade em peso vivo e peso da carcaça, peito e gordura abdominal. Esteve-Garcia e Llauro (1997) determinaram que a bioeficácia equimolar do DL-MHA-FA em relação à DL-metionina é de 80% para ganho diário, 835 para eficiência alimentar, 51% para rendimento de peito e 66% para custo de ração por kg de carne de peito.

Esteve-Garcia e Mack (2000) conduziram um experimento para determinar se a betaína poderia substituir a metionina em uma dieta deficiente em metionina. A fim de evitar os efeitos da betaína como doador de grupos metila ou como melhorador de coccidiostático, foram adicionadas quantidades suficientes de compostos doadores de metila e foram usadas condições higiênicas para reduzir o desafio por coccidiose. A DL-metionina melhorou significativamente o ganho de peso e a conversão alimentar, enquanto que os efeitos da betaína foram relativamente pequenos e não-significativos. O rendimento de peito aumentou em todos os níveis de adição de DL-metionina, enquanto que a betaína aumentou apenas o rendimento de carcaça. Estes resultados sugerem que a betaína não substitui a metionina em sua função como aminoácido essencial, mas pode melhorar o rendimento de carcaça.

Schutte et al. (1997) também examinaram o efeito da suplementação de DL-metionina e da betaína sobre o desempenho de frangos entre 1 e 38 dias de idade e sobre a composição de carcaça de uma sub-amostra de 384 aves. Todas as dietas foram suplementadas com colina para evitar deficiência de grupos metila. O aumento da suplementação de metionina melhorou significativamente o ganho diário e a conversão alimentar. A suplementação de betaína não afetou o crescimento. A betaína melhorou levemente a conversão alimentar nas dietas sem suplementação de DL-metionina, mas não afetou este parâmetro em dietas com DL-metionina adicionada. O rendimento de peito aumentou significativamente, em 1,5% com a adição de 0,05% de DL-metionina, enquanto que 0,04% apenas tendeu a aumentar

o rendimento de peito entre 0,03 e 0,06%. O tipo de dieta não teve qualquer efeito sobre as respostas obtidas. Em resumo, não houve evidência de que a betaína poupe DL-metionina como suplemento de aminoácido essencial em dietas de frangos.

Net et al. (2000) compararam as respostas de frangos à suplementação de metionina e betaína quando fornecidas dietas de baixa proteína e EM relativamente alta ou proteína moderada e EM mais baixa para produzir diferentes teores de gordura na carcaça. O fornecimento de 170 g/kg de PB aumentou o peso da gordura abdominal em 104%. Os suplementos de metionina e betaína melhoraram o desempenho dos frangos em dietas de 240 g/kg de PB em ambos experimentos, indicado pelo ganho de peso e a conversão alimentar. A suplementação de somente metionina melhorou o desempenho dos frangos nas dietas de 170 g/kg. Metionina e a betaína não diminuíram o peso da gordura abdominal. A suplementação de metionina diminuiu o tamanho relativo do fígado e aumentou a proteína do peito.

Em frangos machos de 42 a 56 dias de idade, Dozier et al. (2000) determinaram que a concentração de treonina para taxa máxima de crescimento e conversão alimentar ótima (6,8 g/kg) foi menor que a necessária para rendimento de carcaça (7,5 g/kg) e de filé de peito (7,0 g/kg). Kidd et al. (1999) verificaram que as respostas em crescimento, conversão alimentar e carcaça de frangos alimentados com dietas suplementadas com treonina em excesso eram iguais ou melhores do que as respostas de frangos recebendo a dieta-controle. Uma concentração dietética total de treonina de 6,6 a 6,7 g/kg promoveu boa resposta em desempenho e carcaça em frangos de 42–56 dias de idade. A análise econômica indicou que o nível de treonina que resulta em lucratividade ideal foi próxima do nível que resultou em conversão alimentar e composição de carcaça ótimas.

Há crescente evidência dos efeitos da carnitina sobre o desempenho e a composição de carcaça. Rabie e Szilagyi (1998) verificaram que a suplementação de L-carnitina aumentou o ganho de peso corporal e melhorou a conversão alimentar em frangos. O rendimento de peito e de coxa aumentou significativamente, enquanto que as quantidades absoluta e relativa de gordura abdominal diminuíram.

Embora tenhamos falado do efeito dos aminoácidos individuais, Alleman et al. (2000) demonstrou que a concentração total de proteína bruta (PB) e provavelmente os aminoácidos não essenciais têm efeitos sobre o desenvolvimento do músculo de peito. A redução da concentração de PB sempre diminui a proporção de peito em linhagens magras e gordas, mesmo quando a taxa de crescimento não é afetada. Alleman et al. concluíram que houve um efeito de apoio os AANE sobre o desenvolvimento do músculo do peito.

A temperatura ambiental também pode afetar o crescimento proporcional (Temin et al., 1999). A redução do crescimento relacionada com alta temperatura foi associada com diminuição da retenção de nitrogênio (-30 a -35%), o que não pode ser explicado apenas pelo menor consumo de ração. Amostras de tecido de pintos de 5 a 6 semanas mostrou efeitos variáveis do calor de acordo com os músculos estudados: a 32°C, a proporção do músculo pectoralis major pareceu levemente reduzido (em menos de 10%), enquanto que a proporção dos dois músculos da perna aumentou (em 10–15% para o satorius e 5% para o gastrocnemius). A 32°C, o fornecimento de dieta de alta proteína aumentou significativamente o ganho de peso e a eficiência alimentar e melhorou levemente a deposição corporal de proteína. Mendes et al. (1997) verificaram que a temperatura ambiental influenciou significativamente muitas

características. Temperaturas altas e em ciclos reduziram o consumo de ração, o ganho de peso, o rendimento de peito e a eficiência alimentar e aumentaram o rendimento de carcaça, o rendimento de perna e o teor de gordura abdominal. A concentração de lisina afetou o rendimento de perna e o teor de gordura abdominal em todos os ambientes, mas aumentou o rendimento de peito apenas em condições mais frias.

Razões de aminoácidos específicos

Veldkamp et al. (2000) verificaram que aumentar a razão arginina:lisina de 1,00 para 1,25 não aliviou o efeito da alta temperatura sobre o desempenho, mas a concentração dietética de arginina foi particularmente importante quando a concentração dietética de lisina foi marginal em relação às exigências. A maior razão arginina:lisina aumentou significativamente o consumo de ração até 56 dias de idade ($200,6 \times 197,6$) e também resultou em ganho de peso significativamente maior até 98 dias de idade ($10,03 \times 9,84$ kg). Os rendimentos ao processamento foram significativamente afetados pela temperatura, mas não pela razão arginina:lisina.

Nos experimentos de Kerr et al. (1999b), aumentar a treonina dietética de 85 para 93% das recomendações do NRC pareceu ser adequado para ganho de peso corporal e conversão alimentar. Houve uma interação entre os efeitos de lisina e treonina sobre o peso do peito, de forma que 100% das recomendações de treonina do NRC foram suficientes para maximizar a deposição de carne de peito em frangos alimentados com uma dieta com 105% de lisina, mas foram necessários 108% de treonina para maximizar o rendimento de peito de frangos alimentados com dietas com 120% de lisina.

Metabolismo de aminoácidos e energia

Diferenças na razão energia:proteína são acomodadas principalmente por alterações da composição corporal, sem indicações de alterações regulatórias na produção de calor (termogênese induzida pela dieta). Isto foi demonstrado com dietas de alta energia e baixa proteína e por técnicas de calorimetria em câmara e de abate comparativo (MacLeod, 1990, 1991, 1992). Como um experimento com machos mais tarde alegou alguma evidência de termogênese induzida pela dieta (Buyse et al., 1992), um estudo de MacLeod (1997) usou frangos machos para verificar a possibilidade de diferenças de sexo. As dietas experimentais novamente incluíram formulações de alta energia e baixa proteína, que alegadamente provocam aumento da taxa metabólica em outras espécies (Rothwell e Stock, 1982; Coyer et al., 1987). Nesta ocasião, o experimento também incluiu um tratamento de alta proteína e lisina limitada para examinar o efeito do excesso de aminoácidos sobre o metabolismo de energia; serão estes aminoácidos, que não são usados para síntese protéica, usados como fonte de energia com uma eficiência predita de energia, ou estimulam um aumento na taxa metabólica (Baldini, 1961; Guillaume e Summers, 1970)? As hipóteses implícitas ou explícitas de vários estudos (Baldini, 1961; Guillaume e Summers, 1970; Okumura e Mori, 1979; Tasaki et al., 1970, 1976)

são que, quando a síntese protéica é limitada pelo primeiro aminoácido essencial limitante, os aminoácidos fornecidos em excesso da exigência resultante entram no pool de substratos disponíveis como fonte de energia. Foi sugerido que isto resultaria em maior incremento de calor do que ocorreria com uma mistura balanceada de aminoácidos. No entanto, também se pode argumentar que o catabolismo do aminoácido em excesso poderia, em certo grau, poupar a utilização de outros substratos para a produção de calor, sem ter necessariamente um grande efeito sobre a taxa metabólica total.

Assim, o experimento examinou três efeitos da dieta que tem sido implicados no aumento da taxa metabólica: alta concentração de energia, baixa concentração de proteína e desbalanço de aminoácidos. A alta concentração de energia e a baixa concentração de proteína podem ser resumidas em termos de razão PB:EMV. Como as dietas foram formuladas com lisina como primeiro aminoácido limitante, a qualidade da proteína pode ser resumida como razão lisina:PB. Foi verificado que as diferenças em gasto de energia poderiam ser explicadas quase inteiramente por diferenças (93%) em quantidade e, portanto, custo, de deposição de proteína e gordura. Não houve indicação de termogênese regulatória induzida pela dieta. A produção de calor não foi significativamente correlacionada com a razão PB:EMV e teve correlação negativa com a concentração de EMV. A produção de calor foi intimamente correlacionada ($P < 0,001$) com a taxa de deposição de proteína que, por sua vez, foi mais associada com o consumo do primeiro aminoácido limitante (lisina) do que com o consumo total de proteína. A produção de calor com uma mistura desbalanceada de aminoácidos limitante em lisina não foi maior que a fonte balanceada de aminoácidos com a mesma concentração de lisina. Não houve indicação de uma estimulação de produção de calor por excesso de aminoácidos. A produção de calor, ajustada para peso corporal por análise de covariância, foi semelhante para dietas pareadas com o mesma concentração de lisina, mas como uma diferença de 1,5-2 vezes na concentração de proteína bruta. Houve uma forte correlação negativa ($P < 0,001$) entre a retenção de proteína por g de lisina consumida e a razão lisina:PB, sugerindo que, neste caso, a resposta a um aminoácido limitante melhorou com a presença de uma super-abundância de outros aminoácidos.

Os resultados forneceram mais evidências de que grandes diferenças na razão PB:EMV podem ser acomodadas por diferenças na composição corporal, sem qualquer indicação de termogênese regulatória induzida pela dieta. As diferenças no gasto de energia podem ser explicadas principalmente por diferenças nas quantidades e, portanto, nos custos da deposição de proteína e gordura. A produção de calor foi fortemente associada ao consumo de lisina, e não ao consumo total de proteína. A produção de calor a partir de uma mistura desbalanceada de aminoácidos limitante em lisina não foi maior que a fonte balanceada de aminoácidos com a mesma concentração de lisina. Não houve indicação de uma estimulação de produção de calor por excesso de aminoácidos.

Os resultados confirmaram a importância quantitativa do custo de deposição de proteína em relação ao da excreção de nitrogênio. Efeitos de misturas desbalanceadas de aminoácidos sobre a produção de calor podem ser muito pequenos; o custo adicional da excreção de nitrogênio pode ser contra-balanceada pela redução do custo de deposição de proteína. O custo energético de incorporar uma molécula de aminoácido em uma proteína é ao redor de 4 mol de ATP (Schulz,

1978). A excreção, como ácido úrico, do N resultante do catabolismo de aminoácidos usa 6 mol ATP/átomo de N. Portanto, a excreção de N de aminoácidos custa 6 mol ATP/mol de aminoácido para a maioria dos aminoácidos (que contêm 1 N), mas chega a 18 para a histidina (que contém 3 N). No entanto, o custo da síntese de ácido úrico é mais que compensada pela energia resultante da oxidação da molécula de aminoácido. A razão da produção de ATP (da oxidação) para a utilização de ATP para a síntese de ácido úrico é 68:32 (média de todos os aminoácidos). A contribuição de ATP dos aminoácidos oxidados está potencialmente disponível para poupar a oxidação de outros substratos. Assim, presumivelmente, a oxidação de “excesso” de aminoácidos não precisa levar a uma produção de calor além da resultante da oxidação de carboidratos e gorduras.

Em dois experimentos, onde se mediu a produção de calor (por calorimetria respiratória), a deficiência de metionina (Baldini, 1961) e a adequação de metionina-cistina com outros aminoácidos fornecidos em excesso relativo (Guillaume e Summers, 1970), produziram aumentos na produção de calor. Embora tenha havido alguma evidência de produção de maior calor metabólico de jejum em frangos em crescimento alimentados com uma dieta deficiente em lisina (Tasaki et al., 1970,1976), a maioria dos efeitos sobre a eficiência da utilização de energia resultou de uma grande diminuição (ao redor de 80%) no consumo de ração. De fato, na maioria dos casos em que foi fornecida uma dieta deficiente em apenas um aminoácido (Okumura e Mori, 1979; Sugahara et al., 1985; Sugahara e Kubo, 1992), os principais efeitos sobre a retenção de energia foram através de uma redução no consumo de ração. Farrell (1976) relatou insensibilidade da produção de calor de frangos em jejum prévio alimentados por tubo quando o nitrogênio foi fornecido como proteína de alta qualidade, de baixa qualidade, citrato de di-amônio ou se receberam uma dieta sem nitrogênio. Em todos os casos, o incremento de calor foi 0,25-0,30, dando uma disponibilidade líquida de EM de 0,70-0,75. Uma possível explicação é que todas as dietas-teste foram usadas totalmente como energia porque as aves estavam em jejum prévio e que, portanto, não foi permitido que ocorresse a variação devida a diferenças nas taxas de síntese protéica.

Assim, parece que não há necessidade de invocar um componente regulatório em relação à baixa proteína ou alta energia dietéticas (baixa razão PB:EMV) ou à baixa qualidade da proteína (razão lisina:PB neste experimento).

A forte correlação negativa entre a retenção de energia por g de lisina consumida e a razão lisina:PB pode ter resultado de um maior catabolismo de lisina em base à ação de massa, quando está presente em maior concentração em relação a outros aminoácidos. A relação negativa entre a retenção de proteína por g de lisina e a razão lisina:PB sugere que a resposta a um aminoácido limitante de fato melhorou pela presença de uma super-abundância de outros aminoácidos. Com uma série de dietas menos desbalanceadas que as usadas no presente experimento, Boorman e Ellis (1996) não encontraram efeitos adversos da qualidade da proteína sobre a utilização de lisina e, na verdade, detectaram alguma indicação de aumento da utilização líquida com a diminuição da qualidade da proteína. O fato de não haver limitação da retenção de nitrogênio por outro aminoácido em dietas mais balanceadas (alta razão lisina:PB) foi reforçado pela semelhança entre as retenções de nitrogênio nestas dietas e àquelas de Boorman e Ellis (1996). Uma possível explicação pode ser que, com os extremos desbalanços de proteína do presente estudo o pool de

aminoácidos foi catabolizado de acordo com a abundância molar. Quanto menor proporção de lisina no pool dietético de aminoácidos, menor deve ter sido a proporção perdida no catabolismo; o excesso de aminoácidos não-limitantes pode, portanto, ter tido um efeito poupador. Este efeito será máximo quando a razão PB:EMV é maior, já que mais proteína deve funcionar como fonte de energia. No entanto, um fator que complica é que as dietas que tiveram menores valores de PB retida por g de lisina consumida também foram as com a maior proporção de lisina como lisina-HCl suplementar. Isto evoca a comparação com os resultados em suínos sob certos regimes alimentares (Batterham, 1985). No entanto, a utilização de lisina cristalina teria que ser extremamente baixa para isto ser responsável pelo efeito observado. A confiança no resultado foi reforçada pela coincidência entre as concentrações calculadas e medidas (não-publicadas) de lisina total. Há indicações de um efeito similar na análise de Abebe e Morris (1990) de experimentos feitos por Morris et al. (1987); a exigência de lisina para 0,97 da taxa máxima de crescimento (estimada a partir do modelo de Reading) caiu de 56,4 para 44,5 g de lisina/kg PB quando a PB da dieta aumentou de 140 para 280 g/kg.

Boorman e Ellis (1996) verificaram que a resposta máxima à lisina foi reduzida por sua inclusão em proteína de baixa qualidade. O presente resultado indica que os autores (e D'Mello, 1993) tinham razão quanto às suas dúvidas sobre redução do rendimento líquido de energia como explicação. A disponibilidade líquida de EM na proteína de qualidade mais baixa foi apenas 3% menor que a da dieta (B) com a mesma concentração de lisina, mas com um melhor balanço de aminoácidos quando ajustadas para peso corporal pela análise de covariância. No entanto, há evidência que a suplementação com aminoácidos sintéticos para evitar aumentar a concentração total de proteína na dieta leva a uma maior deposição de gordura em frangos comerciais (Deschepper e de Groote, 1995). Isto pode ocorrer porque há menos proteína "sobrando" para ser metabolizada, mas uma causa mais importante pode ser o inverso - uma maior proporção de energia dietética deve ser consumida como carboidrato e gordura, que são depositados de forma mais eficiente como gordura corporal do que os aminoácidos. Das evidências do presente experimento, e outros, o aumento do consumo de EMV com melhor balanço de aminoácidos pode ser um fator contribuinte.

Bibliography

- ABEBE, S. and MORRIS, T. R. (1990). Note on the effects of protein concentration on responses to dietary lysine by chicks. *British Poultry Science* 31, 255–260.
- ACAR, N., PATTERSON, P. H. and BARBATO, G. F. (2001). Appetite suppressant activity of supplemental dietary amino acids and subsequent compensatory growth of broilers. *Poultry Science* 80, 1215–1222.
- ALLEMAN, F., MICHEL, J., CHAGNEAU, A. M. and LECLERCQ, B. (2000). The effects of dietary protein independent of essential amino acids on growth and body composition in genetically lean and fat chickens. *BRITISH POULTRY SCIENCE* 41, 214–218.
- BALDINI, J. T. (1961). The effect of dietary deficiency on the energy metabolism of the chick. *Poultry Science* 40, 1177–1183.

- BARTOV, I., BORNSTEIN, S. and LIPSTEIN, B. (1974). Effect of calorie to protein ratio on the degree of fatness in broilers fed on practical diets. *British Poultry Science* 15, 107–117.
- BATTERHAM, E. S. (1985). Amino acid availability in pig diets with special reference to natural proteins and synthetic amino acids. In: Haresign, W. and Cole, D.J.A., *Recent Developments in Pig Nutrition*, 97–107. Butterworths, London.
- BOORMAN, K. N. (1999). Protein quality and amino acid utilisation in poultry. In: *Recent Developments in Poultry Nutrition 2*. pp 1–20. Edited by J. Wiseman and P.C. Garnsworthy, Nottingham University Press.
- BOORMAN, K. N. and ELLIS, G. M. (1996). The maximum nutritional response to poor-quality protein and amino acid utilisation. *British Poultry Science* 37, 145–156.
- BUYSE, J., DECUYPERE, E., BERGHMAN, L., KUHN, E. R. & VANDESANDE, F. (1992). Effect of dietary protein content on episodic growth hormone secretion and on heat production of male broiler chickens. *British Poultry Science* 33, 1101–1109.
- CAHANER, A. NITSAN, Z. and NIR, I (1986). Weight and fat content of adipose and non-adipose tissues in broilers selected for or against abdominal adipose tissue. *Poultry Science* 65, 215–222.
- COYER, P. A., RIVERS, J. P. W. and MILLWARD, D. J. (1987). The effect of dietary protein and energy restriction on heat production and growth costs in the young rat. *British Journal of Nutrition* 58, 73–85.
- DESCHEPPER, K. and de GROOTE, G. (1995). Effect of dietary protein, essential and non-essential amino acids on performance and carcass composition of male broiler chicks. *British Poultry Science* 36, 229–245.
- D'MELLO, J. P. F. (1993). Amino acid supplementation of cereal-based diets for non-ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 45, 1–18.
- D'MELLO, J. P. F. (1994). Amino acid imbalances, antagonisms and toxicities: pp 63–97 in: *Amino Acids in Farm Animal Nutrition* (Edited by J.P.F. d'Mello, CABI International, Oxford, 418 pp).
- DOZIER, W. A., MORAN, E. T. and KIDD, M. T. (2000). Threonine requirement for broiler males from 42 to 56 days of age. *Journal of Applied Poultry Research* 9, 214–222.
- ESTEVE-GARCIA, E. and LLAURADO, L. L. (1997). Performance, breast meat yield and abdominal fat deposition of male broiler chickens fed diets supplemented with DL-methionine or DL-methionine hydroxy analogue free acid. *British Poultry Science* 38, 397–404.
- ESTEVE-GARCIA, E. and MACK, S. (2000). The effect of DL-methionine and betaine on growth performance and carcass characteristics in broilers. *Animal Feed Science and Technology* 87, 85–93.
- FARRELL, D. J. (1976). The influence of protein and amino acid balance in the diet of chickens on efficiency of utilisation of dietary energy. In: M. Vermorel (Editor). *Proceedings of the 7th EAAP Symposium on the Energy Metabolism of Farm Animals*, Vichy, France. pp 97–100. Clermont-Ferrand, Guy de Bussac.
- FISHER, GRIMINGER, LEVEILLE and SHAPIRO (1960). Quantitative aspects of lysine deficiency and amino acid imbalance. *Journal of Nutrition* 71, 213–220.

- FRAPS, G. S. (1943). Relation of the protein, fat and energy of the ration to the composition of chickens. *Poultry Science* 22, 421-424.
- GERAERT, P. A., LECLERCQ, B. and LARBIER, M. (1987a). Effect of dietary glucogenic amino acid supplementation on growth performance, body composition and plasma free amino acid levels in genetically lean and fat chickens. *Reproduction, Nutrition, Développement*, 27, 1041-1051.
- GERAERT, P. A., MACLEOD, M. G., JEWITT, T. R. and Anderson, J.E.M. (1987b). Energy and nitrogen metabolism in genetically fat and lean chickens. *Proceedings of the Nutrition Society*, 46, 34A.
- GOUS, R. M., EMMANS, G. C., Broadbent, L.A. and Fisher, C. (1990). Nutritional effects on the growth and fatness of broilers. *British Poultry Science* 31, 495-505.
- GUILLAUME, J. & SUMMERS, J.D. (1970). Influence of amino acid excess on energy utilisation in the growing chick. *Canadian Journal of Animal Science* 50, 355-362.
- HAN, Y. and BAKER, D. H. (1991). Lysine requirement of fast- and slow-growing broiler chicks. *Poultry Science* 70, 2108-2114.
- HARPER, A. E., BENEVENGA, N. J. and WOHLHUETER, R. M. (1970). Effects of ingestion of disproportionate amounts of amino acids. *Physiological Reviews* 50, 428-558.
- HUYGHEBAERT, G. and PACK, M. (1996). Effects of dietary protein content, addition of nonessential amino acids and dietary methionine to cysteine balance on responses to dietary sulphur-containing amino acids in broilers. *British Poultry Science* 37, 623-639.
- JACKSON, S., SUMMERS, J. D. and LEESON, S. (1982). Effect of dietary protein and energy on broiler carcass composition and efficiency of nutrient utilisation. *Poultry Science* 61, 2224-2228.
- KERR, B. J., KIDD, M. T., HALPIN, K. M., MCWARD, G. W. and QUARLES, C. L. (1999a). Lysine level increases live performance and breast yield in male broilers. *Journal of Applied Poultry Research* 8, 381-390.
- KERR, B. J., KIDD, M. T., MCWARD, G. W. and QUARLES, C. L. (1999b). Interactive effects of lysine and threonine on live performance and breast yield in male broilers. *Journal of Applied Poultry Research* 8, 391-399.
- KIDD, M. T., LERNER, S. P., ALLARD, J. P., RAO, S. K. and HALLEY, J. T. (1999). Threonine needs of finishing broilers: Growth, carcass, and economic responses. *Journal of Applied Poultry Research*, 8, 160-169.
- LECLERCQ, B. (1998). Specific effects of lysine on broiler production: Comparison with threonine and valine. *Poultry Science* 77, 118-123.
- LECLERCQ, B., BLUM, J. C. and BOYER, J. P. (1980). Selecting broilers for low or high abdominal fat: initial observations. *British Poultry Science*, 21, 107-113.
- LECLERCQ, B. and SAADOUN, A. (1982). Selecting broilers for low or high abdominal fat: comparison of energy metabolism of the lean and fat lines. *Poultry Science* 61, 1799-1803.
- LILBURN, M. S., LEACH, R. M., BUSS, E. G. and MARTIN, R. J. (1982). The developmental characteristics of two strains of chickens selected for differences in mature abdominal fat pad size. *Growth* 46, 171-181.

- MACK, S., BERCOVICI, D., de GROOTE, G., LECLERCQ, B., LIPPENS, M., PACK, M., Schutte, J.B. and van Cauwenberghe, S. (1999). Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for broiler chickens of 20 to 40 days of age. *British Poultry Science* 40, 257–265.
- MACLEOD, M. G. (1990). Energy and nitrogen intake, expenditure and retention at 20°C in growing fowl given diets with a wide range of energy and protein contents. *British Journal of Nutrition* 64, 625–637.
- MACLEOD, M. G. (1991). Fat deposition and heat production as responses to surplus dietary energy in fowls given a wide range of metabolisable energy:protein ratios. *British Poultry Science* 32, 1097–1108.
- MACLEOD, M. G. (1992). Energy and nitrogen intake, expenditure and retention at 32°C in growing fowl given diets with a wide range of energy and protein contents. *British Journal of Nutrition* 67, 195–206.
- MACLEOD, M. G. (1997). Effects of amino acid balance and energy:protein ratio on energy and nitrogen metabolism in male broiler chickens. *British Poultry Science* 38, 405–411.
- MACLEOD, M. G., WHITEHEAD, C. C., GRIFFIN, H. D. and JEWITT, T. R. (1988). Energy and nitrogen retention and loss in broiler chickens selected for leanness and fatness. *British Poultry Science* 29, 291–298.
- MENDES, A. A., WATKINS, S. E., ENGLAND, J. A., SALEH, E. A., WALDROUP, A. L. and WALDROUP, P. W. (1997). Influence of dietary lysine levels and arginine:lysine ratios on performance of broilers exposed to heat or cold stress during the period of three to six weeks of age. *Poultry Science* 76, 472–481.
- MORRIS, T. R., al-AZZAWI, K., GOUS, R. M. and Simpson, G.L. (1987). Effects of protein concentration on responses to dietary lysine by chicks. *British Poultry Science* 28, 185–195.
- NETKE, SCOTT and ALLEE (1969). Effect of excess amino acids on the utilisation of the first limiting amino acid in chick diets. *Journal of Nutrition* 99, 75–81.
- NETO, M. G., PESTI, G. M. and BAKALLI, R. I. (2000). Influence of dietary protein level on the broiler chicken's response to methionine and betaine supplements. *Poultry Science* 79, 1478–1484.
- OKUMURA, J. and MORI, S. (1979). Effects of deficiencies of single amino acids on nitrogen and energy utilisation in chicks. *British Poultry Science* 20, 421–429.
- RABIE, M. H. and SZILAGYI, M. (1998). Effects of L-carnitine supplementation of diets differing in energy levels on performance, abdominal fat content, and yield and composition of edible meat of broilers. *British Journal of Nutrition* 80, 394–400.
- ROTHWELL, N. J. and STOCK, M. J. (1982). Energy expenditure of "cafeteria"-fed rats determined from measurements of energy balance and indirect calorimetry. *Journal of Physiology* 328, 371–377.
- SAUNDERSON, C. L. (1988). Amino acid and protein metabolism in genetically lean and fat lines of chickens. pp 363-374 In: Leclercq, B. and Whitehead, C.C. (Editors). *Leanness in Domestic Birds*. Butterworths (by arrangement with Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)), London.
- SAUNDERSON, C. L. and WHITEHEAD, C. C. (1987). N-methylhistidine excretion and [U-14C] amino acid oxidation in fully fed chickens from two lines selected for high and low body fat contents. *Comparative Biochemistry and Physiology* 86B, 419–422.

- SCHULZ, A. R. (1978). Simulation of energy metabolism in the simple-stomached animal. *British Journal of Nutrition* 39, 235–254.
- SCHUTTE, J. B. and PACK, M. (1995). Sulfur amino acid requirement of broiler chicks from 14 to 38 days of age. 1. Performance and carcass yield. *Poultry Science* 74, 480–487.
- SCHUTTE, J. B., DeJONG, J., SMINK, W. and PACK, M. (1997). Replacement value of betaine for DL-methionine in male broiler chicks. *Poultry Science* 76, 321–325.
- SUGAHARA, K., KUBO, T. and TASAKI, I. (1985). Involvement of feed intake in the decreased energy retention in chicks fed an arginine-deficient diet. *Japanese Poultry Science* 22, 45–54.
- SUGAHARA, K. and KUBO T. (1992). Effects of dietary tryptophan level and food intake on energy utilization by male growing chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 5, 647–651.
- TASAKI, I., OKUMURA, J., ISHIMOTO, Y. and KATSU, K. (1970). Effects of lysine deficiency on energy utilisation in growing chicks. In: *Proceedings of the 14th World's Poultry Congress*, Madrid, 1133–1136.
- TASAKI, I., SUGAHARA, K. and OKUMURA, J. (1976). Effect of amino acid deficiency on energy and protein utilisation in growing chicks. In: M. Vermorel (Editor). *Proceedings of the 7th EAAP Symposium on the Energy Metabolism of Farm Animals*, Vichy, France. pp 101–104. Clermont-Ferrand, Guy de Bussac.
- TEMIM, S., CHAGNEAU, A. M., GUILLAUMIN, S., MICHEL, J., PERESSON, R., GERAERT, P. A. and TESSERAUD, S. (1999). Effects of chronic heat exposure and protein intake on growth performance, nitrogen retention and muscle development in broiler chickens. *Reproduction, Nutrition, Développement* 39, 145–146.
- VELDKAMP, T., KWAKKEL, R. P., FERKET, P. R., SIMONS, P. C. M., Noordhuizen, J.P.T.M. and Pijpers, A. (2000). Effects of ambient temperature, arginine-to-lysine ratio, and electrolyte balance on performance, carcass, and blood parameters in commercial male turkeys. *Poultry Science* 79, 1608–1616.
- WALLIS, I. R. (1999). Dietary supplements of methionine increase breast meat yield and decrease abdominal fat in growing broiler chickens. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39, 131–141.
- WHITEHEAD, C. C. (1990). Responses of body composition, growth and food efficiency to dietary protein in genetically lean and fat broilers up to 7 weeks of age. *British Poultry Science* 31, 163–172.
- WHITEHEAD C. C. (1999). Nutrition and growth of fat and lean broiler genotypes. In: *Recent Developments in Poultry Nutrition* 2. pp 49–61. Edited by J. Wiseman and P.C. Garnsworthy, Nottingham University Press.
- WHITEHEAD, C. C. and GRIFFIN, H. D. (1984). Development of divergent lines of lean and fat broilers using plasma very low density lipoprotein as selection criterion: the first three generations. *British Poultry Science* 25, 573–582.
- WHITEHEAD, C. C. and SAUNDERSON, C. L. (1988). Body composition and CO₂ production and lipogenesis from [U¹⁴-C] amino acids in pair-fed broiler chickens from two lines selected for high and low body fat contents. *Comparative Biochemistry and Physiology* 89B, 127–129.

MODELLING ENERGY AND AMINO ACID REQUIREMENTS IN ORDER TO OPTIMISE THE FEEDING OF COMMERCIAL BROILERS

Rob Gous

University of Natal, South Africa

Abstract

Optimising the feeding of commercial broilers during their growing period is made difficult because of the many interacting factors influencing their growth and food intake. Not all broilers are the same, nor are they housed in the same environments, and the costs of feeding and the revenue derived from the sale of the product differs markedly from one locality to another. When making decisions about how to maximise some economic index, such as margin/m² annum or breast meat yield in a commercial broiler operation, all of these interacting factors should be considered simultaneously. This is now possible, using optimisation techniques, but only if food intake can be accurately predicted.

The basis of such an optimisation process is that the optimiser passes suggested feeds or feeding schedules to a feed formulation program, which produces a least-cost feed and passes this on to a broiler growth model that, in turn, evaluates the suggested feeding programme. By following certain rules the optimiser continues to alter the specifications for the feeds and/or feeding programme until no improvement can be made in the objective function. Without an accurate prediction of the amount of food that a given broiler will consume in the given environment, such an optimisation process is bound to fail. The broiler growth model described here predicts food intake accurately under most circumstances that would be experienced in a commercial broiler operation, making it possible now to optimise the feeding programme of commercial broilers under a wide range of biological, environmental and economic circumstances, using many different objective functions.

In this paper a method of predicting food intake, and hence the rate of growth of the body and its components in broilers is described, and the basis of the optimisation process that determines the most profitable feeding programme for broilers is outlined.

Introduction

Commercial broiler production is all about making decisions, and then implementing those decisions, the objective in most cases being to maximise profit for the enterprise. A decision is a choice between alternative courses of action, and is made by weighing up the consequences of those courses of action. The process of decision making is one that everyone practices every day: identify the problem; evaluate alternative courses of action; choose the most appropriate on some or other basis; implement the decision;

evaluate the consequences; and repeat the cycle. In order to do this effectively, we need to be able to predict the consequences of these alternatives. There is a common belief that experience and/or experiments are an accurate means of predicting the consequences of different courses of action, but this is not the case. It is necessary to have an accurate theory in order to make the right decisions.

Experience is a poor predictor of performance in broiler production, simply because the broiler genotypes with which we work change each year. In Table 1, the time that it has taken a broiler to reach 1.8 kg in liveweight, and the amount of food that has been needed per kg gain, are given for each decade over the past 50 years. There can be no doubt that experience with the broiler that was reared even ten years ago can be of little benefit when rearing the broilers of today.

Table 1 — Changes in the performance of broilers over the past 50 years.

Period	Days to 1.8kg	Food per unit gain
1950	84	3.25
1960	70	2.50
1970	59	2.20
1980	51	2.10
1990	42	1.93
2000	36	1.55

The performance characteristics given in Table 1 are easily measured, and clearly show the remarkable rate of improvement in broiler performance in the past 50 years. Not as easily measured are the changes that have taken place as a result of selection by the primary breeding companies for improved food conversion efficiency, reduction in body lipid content, and increase in breast meat yield. These selection criteria have changed the broiler in subtle ways that are difficult to measure, and the effects are almost impossible to separate from the general improvement in performance, yet they have a profound effect on the way in which the broiler should be fed to maximise performance and efficiency. Most broiler producers would largely be unaware that such changes have taken place, especially if they have continued to make use of technology that suited the performance of broilers one to three decades ago.

The traditional approach to predicting performance has been to carry out experiments in which different nutrient contents are fed and the outcome is resolved. That this has been successful in broiler production is self-evidently true. However, it is also true that it has not been possible to collect sufficient empirical response data in this way for the results to be applied routinely in commercial practice. Attempts to do this by combining the results of many experiments, e.g. Boorman and Burgess (1986), were useful but still do not provide a general resolution of the problem. The Degussa Corporation (1995), using collected experimental data as described by Rodehutsord and Pack (1999) has produced a model (Amino Chick) for calculation of economically optimum lysine and methionine + cystine contents. The calculation can be done for any stage of the broilers' life (although it is not clear how this is done) and takes account of revenue at the farm gate and for processing, and considers feed costs and the cost of synthetic amino acids. In reality the calculation optimises the level of supplementation

with crystalline amino acids and not the overall dietary content. Mack et al. (2000) have presented new equations for use in this type of optimisation.

The major problem with the use of experiments in attempting to predict performance is that there are so many variables that influence the performance of a broiler. Each time an experiment is conducted, different conditions prevail in the research facility, and different genotypes are used. Because we are interested in the interaction between the birds, the environment and the feed and feeding programme used, extremely complex experiments would be needed to test all combinations of these factors. And then, because of the changes that take place in the genotypes themselves, these experiments would have to be repeated at regular intervals in order to measure the changes in these interactions. The purpose of experiments should be to measure the numbers that will make a theory work, or to test the theory, or to allow us to choose between two theories, i.e. experiments should be conducted only once a theory or an hypothesis has been proposed.

Amino acid requirements of broilers are invariably estimated from the results of experiments in which broilers of a given age have been offered diets containing graded supplements of the amino acid under study. The concentration of amino acid in the diet producing the maximum growth response is often regarded as being the requirement for that amino acid. Although this method is fraught with potential errors (Gous and Morris, 1985) it is still the preferred method by some nutritionists and committees. The resultant requirement is expressed as a fixed concentration in the diet, ideal for constructing tables of requirements and for least-cost formulation of feeds. But it is impossible to apply an accurate cost/benefit analysis to such numbers.

With a fixed requirement, there is no way of determining the effect on growth, food intake or carcass composition of either increasing or reducing the concentration of an amino acid in the diet. It is also not possible to suggest how, or even whether, these requirements should change with the genotypes available to the broiler industry. In fact, little, if any, notice has been taken of the changes that have been made to broiler genotypes, even though these have been extremely impressive. It is assumed by most nutritionists that faster-growing broilers would exhibit a higher food intake, which would compensate for the lower-than-required amino acid content of the diet. But Morris and Njuru (1990) have demonstrated convincingly that this does not always happen.

Fisher et al. (1973) showed that there was an advantage in seeing the requirements of animals as variable, dependent on the marginal cost of the amino acid and the marginal returns of the product. Prediction equations could then be used to determine the optimum amino acid intake for a given set of economic conditions. In spite of a general acceptance of the theory that requirements for amino acids should not be seen as being fixed, the tendency remains to do so.

The major reason for this apparent reluctance to move from the outdated and inaccurate system to the more dynamic theory is that there are so many factors that have to be integrated before the optimum economic feeding schedule can be determined. This is especially true of feeding programmes for growing animals. Factors to be considered include the potential protein growth rate of the genotype; differences between individuals at a time and within individuals over time; the effect of different nutrient concentrations and energy-to-protein ratios on food intake, carcass composition and protein gains; the effects of differences between genotypes in the amount of excess energy that may be stored as body lipid, and the maximum rate at

which this can take place; the effects of high or low environmental temperatures on all of the above; and the constraints placed on the animal by the environment and by the feed, which prevent the birds from consuming the necessary amount of a feed to grow at their potential.

It is only through the development of a plausible theory, and the advent of computers, that it has been possible to integrate all of these factors into a workable form. It is now possible to predict voluntary food intake, and this has opened up a number of opportunities that were not available previously to nutritionists, geneticists and producers wishing to make the broiler production enterprise more efficient and profitable. In fact, there is no defensible way of estimating the nutrient requirements of growing animals, or of optimising the feeding of broilers, other than by the use of simulation models.

An overview of a theory of growth and voluntary food intake

Describing the genotype - Potential growth rate

In order to predict food intake it is necessary to have some view on what a bird or an animal is attempting to achieve when faced with a given food. Emmans (1981) suggested that broilers attempt to grow as fast as possible, and in such a way as to reproduce as early and as efficiently as possible. Based on this premise, it is necessary to know the potential growth rate of a broiler before a theory of food intake can be applied. But predicting the performance of animals is a general problem in animal production, the solution depending, in part, in being able to describe the animals adequately (Emmans and Fisher, 1986). In the past there has been neither consensus nor any general discussion in the literature on methods of defining genotypes that would allow similarities and differences between animals to be compared. However, with the advent of simulation models for describing the growth and food intake of animals, an adequate description of the genotype has become essential.

Poultry scientists and producers often misunderstand the concept of potential growth rate. It is not the maximum growth rate that can be achieved by a flock of broilers of a given genotype under commercial husbandry conditions, but the maximum growth rate that the genotype can possibly achieve when given perfect nutritional and husbandry conditions. The carcass composition of a bird grown under such conditions would reflect the genotypic composition of the bird, unaltered by external factors - this being particularly important in respect of the lipid content of the bird, which is significantly influenced by deviations from a perfect feed, feeding strategy and environment.

The approach suggested by Emmans (1989) to describe and evaluate different genotypes begins with a definition of potential protein growth, and the live weight of the animal is built up from this, using the allometric relationships that exist between protein, water, ash and lipid, i.e. a bottom-up approach. He has shown that a few, simple, assumptions can lead to a description of an animal that is sufficient for predicting its performance in non-limiting conditions and for calculating what these conditions are. It

seems sensible to be able to predict performance in non-limiting conditions before the more difficult question is tackled, namely, that of defining growth in limiting conditions.

Values for the genetic parameters that define an animal can be measured by rearing animals in environmental conditions that are as near to ideal as possible. Under these conditions, growth curves are obtained which represent the genetic potential for a particular genotype. The growth curves obtained in this way allow comparisons to be made between breeds and strains. Examples of such investigations are in Hancock et al. (1995), and Gous et al. (1999).

Predicting nutrient requirements

For a model of growth to be successful it must be able to calculate the nutritional and environmental requirements of the bird that are needed for potential growth, and it must be able to predict the consequences of deviations from these optimum conditions. A growing animal needs to be supplied with nutrients in order to meet the requirements for maintenance of the body and for the growth of all other components of the body, including feathers. The resources needed to meet these requirements can be determined from knowledge of the growth rate and composition of the various components of the body. The resources available for supplying these requirements, which are present in various feedingstuffs, need to be described in the same terms as are used to describe the nutrient requirements.

The requirement for protein depends on the amino acid composition of that protein and the rate at which it is being produced. The sum of each amino acid required for the maintenance and the growth of feather and of body protein constitutes the daily requirement for each of the amino acids. The retention of lipid, water and ash has no protein requirement. The scale on which the amino acids required by the animal are measured, and on which the amino acids in the feed are described must be the same. The conventional wisdom is to express this in terms of digestibility. The marginal efficiency with which the first limiting amino acid is used for protein retention above maintenance is not necessarily constant, but can be modified by the supply of other amino acids and by the supply of energy. An accurate theory would take these factors into account.

Emmans (1984) has shown that the metabolizable energy (ME) scale is not a sufficiently accurate means of describing the energy content of a feedstuff. The ME scale is unable to differentiate between the efficiency of utilization of the energy emanating from the three digestible components of protein, lipid and carbohydrate, nor does it take account of the effect of indigestible organic matter on the energy available to the animal from the diet. The energy scale proposed by Emmans (1984) to take account of these deficiencies in the ME system is known as the effective energy (EE) scale and is the preferred energy system to be used in simulation modelling.

Predicting voluntary food intake

The implication from the above discussion is that an animal has requirements for certain resources that it needs in order to maintain its current state and to grow according to its growth plan. Because the animal is motivated to grow at this potential rate, the acquisition of food as a means of obtaining the required resources becomes

a priority. Appetite can be seen to be dependent on the nutrient requirement of the animal and the content of those nutrients in the food (Emmans and Fisher, 1986).

In order to predict how much food the animal will consume when given *ad libitum* access to a food, it is necessary first to be able to predict the rate of intake on a balanced food in a thermally neutral environment. This rate of intake is termed the desired food intake (Emmans and Fisher, 1986) and is that which will allow the potential growth rate to be attained. Because the animal is assumed to eat to satisfy its requirement for the first limiting feed resource, food intake would be expected to deviate from the desired intake when the food is imbalanced in some way or if the animal were placed in an unfavourable environment. In the case of a marginal deficiency of an essential nutrient the animal may be capable of consuming sufficient of that imbalanced food to grow to its potential, but as the deficiency was made more severe, protein growth would fall below the potential. The inability of the animal to eat sufficient of such an imbalanced food is due to the constraints of feed bulk, and the inability to lose to the environment the additional heat that would be produced if more food were consumed. Emmans and Fisher (1986) have given a comprehensive explanation of this theory of food intake.

The most important consequence to the commercial broiler producer of providing broilers with a feed marginally deficient in an amino acid is that the bird will overconsume energy in an attempt to obtain sufficient of the limiting resource, and this energy will be deposited as lipid. It has been shown that broilers exhibit statistically significantly higher feed conversion efficiencies and lower lipid contents when higher concentrations of amino acids than are conventionally used in the broiler industry are included in the feed (Gous et al., 1990).

As the potential growth rate of broilers is increased by genetic selection, so the daily amino acid and energy requirements of the bird are increased, but these do not increase in the same proportion. The amino acid requirements increase proportionately faster than does the energy requirement, thus a higher amino acid to energy ratio is required as the rate of growth of broiler strains is increased. This was well illustrated by the results of an experiment by Morris and Njuru (1990) in which diets of increasing protein content were fed to broilers and laying-type cockerels. The maximum gain in weight and in protein content in the cockerels was achieved on diets with considerably lower protein contents than was needed to maximise the gain in the broilers.

Dealing with the environment

The rate of intake of a given food by a given type of bird in a given state will depend on the temperature of the environment in which it is kept. Emmans and Fisher (1986) have suggested that the heat loss of the bird varies in some way with the temperature of the environment, and as the ability of the bird to store heat is effectively zero, its rate of heat loss must equal its rate of heat production. The environment clearly places an upper limit on the amount of heat that a bird can lose to the environment and this has important consequences in the design of feeds for fast growing broilers. As the rate of growth of broilers has been improved, so the environmental temperature at which they would be comfortable has been reduced, although this constraint on the potential growth rate of modern fast-growing broilers has largely been ignored.

Heat production will increase as food intake increases providing that, at all intakes, the environment is thermally neutral. It follows that the temperature of the environment that is thermally neutral will decrease as the rate of food intake increases. Food intake is predicted to increase as the feed content of a limiting nutrient is decreased, so the growth rate, which defines the requirement, and the composition of the feed, which determines the desired food intake, interact to define the temperature that will be thermally neutral for the bird at that time. Feeds with a low nutrient to energy ratio will cause the thermoneutral temperature to decrease. The calculations involved in determining the consequences of these interactions are complex and therefore benefit from well-constructed simulation models.

Optimising the feeding programme for broilers

The optimum feeding programme for broilers is that which results in the highest profit for the enterprise, e.g. margin/m² per annum. Determining the optimum nutrient density, the optimum concentrations of amino acids relative to energy in each feed, and the optimum length of time that each feed should be fed, is therefore both a nutritional and an economic decision.

The information required for optimisation consists of feed costs at different levels of amino acid provision, a description of all the relevant animal responses, both fixed and variable costs affecting the production system, and details of revenue. The complexity of the information required would depend on the level of organisation at which the optimisation is to be made. If profit of the broiler grower is to be maximised at the farm gate, then responses in liveability, growth and feed conversion ratio will probably suffice. However, and more realistically, a wider view will be required, and the effect of broiler nutrition on slaughterhouse variables (eviscerated yield, rejects etc.) and further processing (carcass composition) will need to be defined. Mack et al. (2000) emphasised the importance of broiler companies considering all aspects of the production cycle when making nutritional decisions.

Feed costs for any nutritional specification are readily calculated by linear programming. This will take account of feed ingredient availability, analysis and costs. Processing and transport costs may be added. Broiler production costs are complex but will usually be specified by each Company.

So the only persistent problem in optimisation lies, as ever, in the definition of animal response. Consider some of the procedures that would be necessary in optimising a feeding programme. It would be necessary to determine the potential growth rate and potential degree of fatness of the birds to be fed; the distribution of potential growth rates (greater when mixed sexes are used); the environmental conditions that could be provided, and the cost of altering the prevailing conditions; the costs of a range of feeds differing in nutrient density at each given energy-to-protein ratio; the cost of mixing and then transporting these feeds to the production site (which would place an upper limit on the number of feeds that could be considered in any production cycle). Consider then that the birds can adjust their intake of a given food to an extent, this being limited by the environmental conditions; that the effect of feeding a relatively low quality food initially can be compensated for at a later stage if the conditions are such that the bird can either consume more food later, or draw on lipid reserves, thereby

exhibiting an improved feed conversion efficiency. Consider, too, that the amount of lipid in the gain is of importance to some producers, but not to others; and that the length of the production cycle can be altered considerably by the use of different feeding programmes. It becomes clear that it is naive to imagine that any one, or even any series, of experiments could begin to address the question of defining the optimum feeding programme. Only with the use of an accurate simulation model could such an optimisation be contemplated.

A new approach to optimisation

An optimisation tool has recently been developed by EFG Software (Natal). This is a commercial product but the methods used are open and the work is presented here as part of the scientific development in this field.

In essence the method combines three types of computer program:

1. A feed formulation program, using linear programming.
2. A broiler growth model.
3. An optimisation procedure.

The flow of information, shown in Figure 1, is very simple. The optimiser defines nutritional constraints for practical broiler feeds. These are passed to the feed formulation program where the least-cost feed that meets these constraints is determined. The characteristics of this formulated feed are then passed, as input, to the broiler growth model. The performance expected from this feed when given to a defined flock of broilers in a given environment is predicted by the model, and this predicted performance is then passed to the optimiser to complete the cycle. The next cycle starts by the optimiser modifying the feed specifications, moving, according to some in-built rules, to an optimum point. The objective function to be optimised can be defined in terms of any output from the broiler growth model, but realistically would be an economic index of some sort. Examples are margin over feed cost, margin per m² per year, or maximum breast meat yield at an age.

The system allows for use of all the data considered above. The broiler growth model allows for multiple harvesting from one flock and calculates revenues from any mixture of whole-bird sales or processing. Typical economic variables are included although these are readily customised to fit with individual enterprises. In the broiler growth model the protein nutrition of the broiler has to be simplified to some extent; for example the effects of amino acid imbalance on feed intake have to be ignored.

The key to this approach clearly lies in the ability of the broiler growth model to reflect accurately the performance expected under commercial conditions. Growth models are improving over time and models developed in different laboratories can be included in optimisation schemes of the sort described here. However, at this time there is unfortunately little evidence of the development of modelling in the poultry research community.

The computer program, which carries out the calculations shown in Figure 1, is embedded in the windows-based feed formulation program, WinFeed. Practical feed

Broiler Nutrition Optimiser

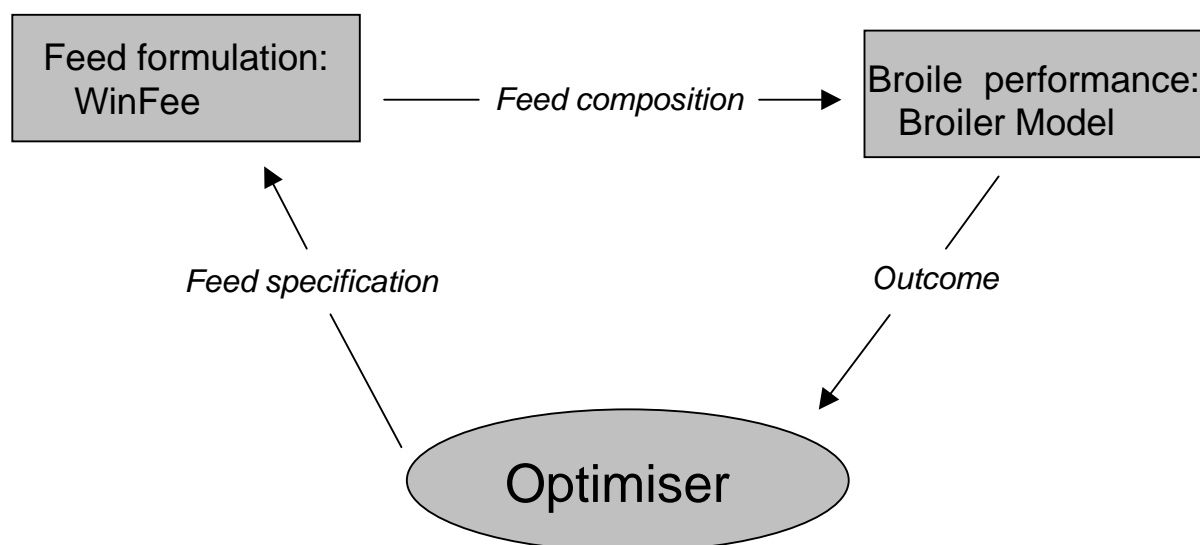


Figure 1 — Flow of information in optimising the feeding programme of a broiler chicken

specifications are set up in the usual way and these provide the starting point for the optimisation. A feeding programme is set up from these feeds (list of feeds with time or quantities given) and then the optimisation is started. This takes account of all the other settings in both the feed formulation program (feed prices, feed and nutrient constraints etc.) and the broiler model (genotype, environment, fixed and variable costs, sources and rates of revenue). Mortality is input to the model.

At present the program optimises three aspects of a commercial broiler feeding programme: it optimises amino acid contents in each feed, given a feeding schedule; it optimises the nutrient density of each feed in the feeding schedule, and the optimum feeding schedule is determined, given feeds of a fixed composition.

Optimising amino acid contents in each feed

The optimum relationships between the essential amino acids and energy change during the growing period, and the optimiser determines the relationship within each specified feeding period that maximises (usually) or minimises the objective function. The objective is to determine the optimum amino acid to energy ratio in each of the feeds in the feeding programme such that the overall performance is maximised. The objective is not to determine independently the optimum ratio in each of the feeds on offer. Because the performance on one feed impacts on the performance on subsequent feeds, this is an essential prerequisite in optimising the feeding of broilers.

To optimise amino acid contents the process works only with lysine. The contents of the other essential amino acids are controlled by reference to an (user-controlled) 'ideal' protein ratio. In the present versions of the program both amino acid and energy contents are optimised simultaneously, although the user may fix either of these, thereby increasing flexibility.

Optimising nutrient density

Given that the user wishes to retain a given ratio between the essential amino acids and energy, the program will optimise the nutrient density in each of the feeds in the feeding programme, by maximising the objective function over the entire growth period. As Fisher and Wilson (1974) have shown, the optimum nutrient density depends on such factors as sex, the ratio between input and output costs, and mixing and transport costs. These factors, and others, may be considered by the user in determining the optimum nutrient density of each of the feeds in the programme.

Optimising the feeding schedule

Many broiler producers do not have the opportunity of having feeds mixed according to their specifications, but are constrained to make use of proprietary feeds. An almost infinite variety of options is open to such producers in designing their feeding schedule, which can be based on amounts fed in each period or on fixed feeding periods for each feed. The optimum feeding schedule is dependent on the composition of the feeds, their respective prices, the revenue to be derived from the sale of the broilers, and many other biological and economic considerations.

Results

Development of this computer program is still in its final stages and it is not possible to present an analysis of optimum amino acid levels for broiler production under any specific circumstances. However some illustrations of the use of the program may be given. For this purpose the three different optimisers were used to illustrate the effects of changes to different variables on the optimum feed composition or feeding schedule. Birds were reared to 42 days in all cases, and revenue was generated on a liveweight basis only. Feed ingredient availability and price were set at some arbitrary conditions. Broiler house turn round (seven days), fixed production costs (\$2.1/m²/year) and variable costs (\$4.4/bird/cycle) are illustrative. Mortality was set at 5%. Revenue was generated at \$6.5/kg liveweight.

Optimising amino acid contents in each feed

In this exercise a three-stage feeding programme was used, with starter (0–16 days); grower (16–32 days) and finisher (32–42 days). Table 2 shows a brief summary of results for male and female broilers fed (a) at current prices, (b) at prices for protein sources only increased by 25%, and (c) at prices for protein sources only decreased by 25%. In all other respects the three cases were identical. Protein prices adjusted were for fishmeal, soyabean meal, sunflower meal, maize gluten 60%, DL-methionine and L-lysine HCl.

These illustrative results at least show the expected pattern. Optimum lysine contents for broilers are lower for females than males. When protein prices increase, the optimum lysine contents and the optimum level of broiler performance both decrease. When protein prices decrease, there is very little change in the suggested

Table 2 — Effect of changing the price of protein on optimum lysine levels, and broiler production at these optimum levels (calculated data). The objective function used was margin over feed costs.

Sex	Prices	Lysine, %			Broiler production @ 42 days		
		Start.	Grow.	Finish.	Body wt kg	FCR	Margin c/bird
M	Normal	1.5	1.1	0.9	2.71	1.840	1093
M	+20%	1.2	1.0	0.9	2.52	1.926	948
M	-20%	1.6	1.1	0.9	2.72	1.839	1176
F	Normal	1.5	0.9	0.8	2.28	1.984	912
F	+20%	1.2	0.9	0.7	2.19	2.103	838
F	-20%	1.5	0.9	0.9	2.29	1.966	980

feeding strategy. In these circumstances the program suggests that you just take the extra margin.

In no circumstances should the data in Table 2 be used as a recommendation for feeding broilers. The work is at too early a stage for this. Also the program currently works only in steps of lysine of 0.1%, so some fine-tuning may be missed.

Optimising nutrient density

In this example, three broiler feeds were again offered, but the ratio between the amino acids and AME in these feeds was fixed. The starter was fed to day 16, the grower to day 28 and the finisher was fed thereafter. Optimisations were conducted using males and females reared separately, and combined, at two revenues. The results are in Table 3.

Table 3 — Liveweight, feed conversion ratio (FCR), breast meat as percentage of liveweight, and margin/m² annum at 42d on feeds of optimum nutrient density (ND). The objective function used was margin over feed cost.

Sex	Revenue R/kg	AME at optimum ND			liveweight at 42d	Food intake	FCR at 42d	Breast %
		starter	grower	finisher				
M	base	13.23	12.09	11.46	2510	4520	1.800	17.66
M	+25%	13.00	12.40	12.40	2495	4256	1.706	17.58
F	base	13.15	12.56	11.76	2038	3786	1.858	18.91
F	+25%	13.00	12.60	13.40	2113	3793	1.796	18.23
M/F	base	13.23	11.93	11.47	2262	4218	1.877	18.28
M/F	+25%	13.00	12.60	13.00	2293	3942	1.727	17.99

At the optimum, the initial feed for males had a higher nutrient density than for females, but in the subsequent feeds this was reversed. By increasing revenue the optimiser changed the nutrient densities of the feeds in such a way as to improve considerably the FCR in each case.

Again, the results from this optimisation should not be used for commercial purposes, as the conditions described in setting up this optimisation are unlikely to be similar to conditions in practice.

Optimising the feeding schedule

Three feeds were again offered, with fixed (13.00 MJ/kg) AME contents and lysine contents reducing from 13.7g/kg in the starter, to 12.4g/kg in the grower and 11.0g/kg in the finisher. The objective function was to maximise feed conversion ratio (FCR) for males and females separately, and to compare this with the base feeding schedule, in which the starter was fed to 14d, the grower to 28d, and the finisher thereafter. The results are in Table 4.

Table 4 — Optimum feeding periods for three feeds of fixed composition, for male and female broilers reared separately. The performance is compared with the base feeding schedule, of starter to 14d, grower to 28d and finisher thereafter. The objective function maximised was feed conversion ratio (FCR).

Sex	Optimum feeding period			Liveweight at 42d of age		FCR		Breast, g	
				Base	Opt	Base	Opt	Base	Opt
M	0 - 8	9 - 14	15 - 42	2495	2494	1.655	1.622	461	462
F	0 - 7	8 - 10	11 - 42	2094	2094	1.831	1.786	403	403

The optimum feeding periods for the two sexes differ, sensibly, reflecting the lower amino acid requirements of the females compared with the males. The FCR was considerably improved over the base levels by optimising the periods over which each feed should be fed, even though the body weight at the end of the growing period was the same. The decision as to the optimum time to switch from one feed to the next is dependent on many variables, and the result in Table 4 should therefore be used for illustrative purposes only, and should not form the basis of feeding decisions under different circumstances.

Acknowledgement

To Colin Fisher, who is at the heart of this development, and to Linda Longley and Egmont Goedeke who are responsible for the computer programming.

References

BOORMAN, K. N. and BURGESS, A. D. 1986. Responses to amino acids. In: *Nutrient Requirements of Poultry and Nutritional Research* (edit. C. Fisher and K.N. Boorman). Butterworths, London. Pp.99–123.

- DEGUSSA 1995. *Amino Chick version 1.0*. Degussa AG, Hanau, Germany.
- EMMANS, G. C. 1981. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: *Computers in Animal Production*. Ed. Hillyer, G. M., Whittemore, C. T. and Gunn, R. G., Animal Production, Occasional Publication N° 5, London. pp 103–110.
- EMMANS, G. C. 1989. The growth of turkeys. In: *Recent Advances in Turkey Science*. Ed. Nixey, C. and Grey, T. C., Butterworths, London. pp 135–166.
- EMMANS, G. C. 1994. Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. *British Journal of Nutrition*, 71: 801–821.
- EMMANS, G. C. & FISHER, C. 1986. Problems in nutritional theory. In: *Nutrient Requirements of Poultry and Nutritional Research*. Ed. Fisher, C. and Boorman, K. N., Butterworths, London. pp 9–39.
- FISHER, C., MORRIS, T. R. and JENNINGS, R. C. 1973. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. *British Poultry Science*, 14: 469–484.
- FISHER, C. & WILSON, B. J. 1974. Response to dietary energy concentration by growing chickens. In: *Energy Requirements of Poultry*, Ed Morris, T. R. & Freeman, B. M., British Poultry Science Ltd. Edinburgh, British Poultry Science Symposium 9: 151–184.
- GOUS, R. M. 1986. Measurement of response in nutritional experiments. in: *Nutrient Requirements of Poultry and Nutritional Research*, Ed. Fisher, C. and Boorman, K. N., Butterworths, London, British Poultry Science Symposium 19: 41–57.
- GOUS, R. M., EMMANS, G. C., BROADBENT, L. A. and FISHER, C. 1990. Nutritional effects on the growth and fatness of broilers. *British Poultry Science* 31: 495–505.
- GOUS, R. M., MORAN, E. T. Jr., STILBORN, H. R., BRADFORD, G. D. and EMMANS, G. C. 1999. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. *Poultry Science*, 78: 812–821.
- HANCOCK, C. E., BRADFORD, G. D., EMMANS, G. C. and GOUS, R. M. 1995. The evaluation of the growth parameters of six breeds of commercial broiler chickens. *British Poultry Science*, 36: 247–264.
- MACK, S., BERCOVICI, D., DEGROOTE, G., LECLERCQ, B., LIPPENS, M., PACK, M., SCHUTTE, J. B., and VAN CAUWENBERGHE, S. 1999. Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for broiler chickens of 20 to 40 days of age. *British Poultry Science* 40: 257–265.
- MACK, S., HOHLER, D., and PACK, M. Evaluation of dose-response data and implications for commercial formulation of broiler diets. *Proceedings Australian Poultry Science Symposium 2000*: 82–87.
- MORRIS, T. R. and NJURU, D. M. 1990. Protein requirements of fast- and slow-growing chicks. *British Poultry Science* 31: 803–809.



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves
Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Caixa Postal 21, 89700-000, Concórdia, SC
Telefone: (49) 442-8555, Fax: (49) 442-8559
<http://www.cnpsa.embrapa.br/>
sac@cnpsa.embrapa.br